

---

# Establecimiento de reglas de compresión encabezado para la interconexión de dispositivos IoT en redes LoRaWAN a IPv6 mediante la implementación SCHC de referencia desarrollada por IMT Atlantique - Caso: sistema de monitoreo ambiental en la USTA

Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones -  
Grupo INVTEL - USTA

Departamento de redes, ciberseguridad y derecho digital  
- Grupo OCIF - IMT Atlantique

---



# Tabla de contenido

<b>1. Título</b>	<b>3</b>
<b>2. Duración</b>	<b>3</b>
<b>3. Lugar de ejecución</b>	<b>3</b>
<b>4. Investigador principal</b>	<b>3</b>
<b>5. Co-investigadores</b>	<b>3</b>
<b>6. Equipo de investigación requerido</b>	<b>4</b>
<b>7. Alianza estratégica</b>	<b>5</b>
<b>8. Resumen de la propuesta</b>	<b>6</b>
<b>9. Palabras clave</b>	<b>6</b>
<b>10. Planteamiento del problema y pregunta de investigación</b>	<b>6</b>
<b>11. Justificación</b>	<b>8</b>
<b>12. Objetivo general</b>	<b>9</b>
<b>13. Objetivos específicos</b>	<b>9</b>
<b>14. Marco teórico</b>	<b>9</b>
<b>15. Metodología</b>	<b>12</b>
<b>16. Resultados esperados</b>	<b>13</b>
<b>17. Productos esperados</b>	<b>13</b>
<b>18. Contribución del proyecto al cumplimiento de la misión institucional</b>	<b>14</b>
<b>19. Presupuesto</b>	<b>14</b>
<b>20. Cronograma</b>	<b>16</b>
<b>21. Posibles evaluadores</b>	<b>16</b>
<b>22. Bibliografía</b>	<b>16</b>

# 1. Título

Establecimiento de reglas de compresión encabezado para la interconexión de dispositivos IoT en redes LoRaWAN a IPv6 mediante la implementación SCHC de referencia desarrollada por IMT Atlantique - Caso: sistema de monitoreo ambiental en la USTA.

# 2. Duración

Abril - Diciembre 2018 (9 meses)

# 3. Lugar de ejecución

Bogotá, D.C.

Sede principal Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones. En colaboración virtual IMT-Atlantique en Francia, específicamente con el grupo OCIF del Departamento de redes, ciberseguridad y derecho digital.

# 4. Investigador principal

Angela Tatiana Zona Ortiz - USTA

# 5. Co-investigadores

Felipe Díaz Sánchez - USTA

Laurent Toutain - IMT-Atlantique

Baptiste Gaultier - IMT-Atlantique

Tabla 1. Resumen de articulación del proyecto con las líneas y grupos de investigación

Programa(s)	Facultad(es)	Datos generales			
		Línea activa	Línea medular	Campos de acción institucional (Seleccione)	Grupo(s) de investigación
Ingeniería de Telecomunicaciones	Facultad de Ingeniería de	Interconexión y	Alberto Magno: Ciencia,	Derechos humanos, ciudadanía y construcción	INVTEL

	Telecomunicaciones	convergencia	Tecnología y Medio Ambiente	de política pública en y para escenarios de paz ( )  Desarrollo tecnológico con apuesta social ( X )  Desarrollo ambiental sostenible ( )  Cambio educativo y social desde la multi e interculturalidad ( )	
--	--------------------	--------------	-----------------------------	---	--

## 6. Equipo de investigación requerido

El equipo de trabajo propuesto por 5 ingenieros con dedicación parcial: dos doctores de Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones (USTA), un doctor (IMT-Atlantique), un ingeniero investigador (IMT-Atlantique) y un ingeniero de telecomunicaciones (Externo). Se contempla la participación de estudiantes de pregrado a través semillero INGENIATEL de la facultad de ingeniería de telecomunicaciones.

Angela Tatiana Zona Ortiz  
USTA

- Doctor en Telecomunicaciones - Universidad Politécnica de Valencia, España
- Docente Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones
- [cvlac Zona-Ortiz](#)
- Más 15 años de investigación en proyectos de desarrollo tecnológico en el instituto ITACA de la UPV. Actualmente es líder del nodo USTA del Centro de Excelencia y Apropiación para el Internet de las Cosas (CEA-IoT)

Felipe Díaz Sánchez  
USTA

- Ph.D en informática y redes - Télécom Paristech, Francia
- Docente Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones
- [cvlac diaz-sanchez](#)
- Más de 5 años de experiencia como investigador en temáticas de desarrollo de software, cloud y Sistemas Inteligentes de transporte. Actualmente, es investigador dentro del Centro de Excelencia y Apropiación para el Internet de las Cosas (CEA-IoT)

Laurent Toutain  
IMT-Atlantique

- Ph.D. en informática - Université du Havre
- Profesor Departamento de redes, ciberseguridad y derecho digital
- Miembro fundador del grupo G6, que desde 1995 trabaja en IPv6. Es miembro de IPv6 Task Force y participa con la ETSI en plugtest en IPv6. Dentro de su amplia experiencia cabe resaltar que ha participado en el estudio de impacto de IPv6 en el protocolo ROHC (Robust Header Compression), el cual puede usarse en las redes 3G para la comprensión de la cabecera IPv6. Ha participado en la creación de la RFC 8138 y la RFC 5571, y los draft asociados al protocolo SCHC.
- Co-fundador de la spin-off [Acklio](#), empresa que provee herramientas que permiten interoperabilidad en redes LPWAN.

Baptiste Gaultier

IMT-Atlantique

- Ingeniero de software y redes - Université de Rennes 1
- Ingeniero de Investigación en el Departamento de redes, ciberseguridad y derecho digital
- Desarrollador de software con amplia experiencia en desarrollos IoT, inventor de laboïte, lenuage y laclef las tres aplicaciones que usando tecnología IoT y de cloud prestan servicios a los usuarios. Ha desarrollado un IoT MOOC.
- Co-fundador de [FabLab](#) de francia, que es un red de lugares y competencias abierta al público para concebir, realizar y aprender de manera colectiva alrededor de tecnologías.

Camilo Ricardo Rojas

Externo

- Ingeniero de Telecomunicaciones - Universidad Santo Tomás
- Ingeniero de desarrollo Hardware del Centro de Excelencia y Apropiación para el Internet de las Cosas (CEA-IoT)
- Amplia experiencia en el desarrollo de dispositivos de hardware para IoT utilizando la tecnología LoRa, y en el despliegue de este tipo de redes.
- Fundador [homenode](#), emprendimiento orientado a soluciones IoT con tecnología LoRa.

## 7. Alianza estratégica

Teniendo en cuenta la experiencia el doctor Laurent Toutain en la creación del protocolo ROHC (Robust Header Compression) para IPv6, además de la propuesta de la familia de protocolos SCHC, el proyecto se presenta en colaboración con IMT-Atlantique de Francia. De esta manera, se afianza la colaboración en investigación con esta institución francesa con quien la USTA tiene un convenio marco interinstitucional. Adicionalmente, la participación de ingeniero de investigación Batiste Gaultier fortalecerá la visión de

mercado y aplicación a la sociedad de los resultados obtenidos, mediante su experiencia en el desarrollo de soluciones IoT.

Esta colaboración permitirá al grupo INVTEL un acercamiento a investigaciones e información que impulsan el desarrollo y despliegue de IoT en el mundo, mediante la estrecha colaboración con IMT-Atlantique. Esta colaboración se verifica en la Carta de intención IMT-Atlantique adjunta en el Anexo A.

Por otra parte, la universidad Santo Tomás hace parte la alianza del Centro de Excelencia y Apropiación en Internet de las Cosas (CEA-IoT). Participación que ha permitido al grupo INVTEL experiencia en proyectos IoT, fortaleciendo competencias tanto en software como hardware mediante los estudiantes de maestría vinculados. Para este proyecto esta alianza aportará el desarrollo de 2 nodo de monitoreo ambiental en tecnología LoRa, que serán el resultado de la tesis de maestría de uno de los estudiantes financiados, con un costo aproximado de \$1.650.000. Los datos de los nodos se suben al desarrollo de *Bucket*<sup>1</sup> -una plataforma para la captura de datos de dispositivos IoT- que también hace parte de los resultados alcanzados por la alianza en el nodo USTA, con un costo aproximado de \$32.000.000. Adicionalmente, se está tramitando al interior de la universidad la instalación de dos estaciones LoRa que permiten la realización exitosa del presente proyecto, cada estación LoRa tiene un costo aproximado de \$2.120.000. Finalmente, si para el momento de realización del proyecto, el CEA IoT aun cuenta con fondos del ministerio se podrán utilizar según las indicaciones de Colciencias para apoyar el desarrollo del mismo.

## 8. Resumen de la propuesta

Las redes LPWAN se han mostrado como la solución para el despliegue de soluciones IoT con bajo consumo de energía para el nodo y buena cobertura. Sin embargo, la interconexión de los dispositivos IoT en redes LPWAN con redes IP se ha convertido en un problema. Por lo tanto, desde IMT Atlantique están trabajando con organismos de estandarización en la familia de protocolos SCHC que buscan la compresión del encabezado de IPv6 de manera que esta interconexión sea posible, lo que se refleja en un draft.

Este draft debe ser validado mediante estudios experimentales en diferentes redes y con diferentes aplicaciones, de manera que se compruebe que SCHC sea la solución lo mas efectiva y eficiente posible al problema de interconexión. Para lo cual tendrán que definirse diferentes reglas de compresión de encabezado y validarse de manera experimental sobre implementaciones reales.

---

<sup>1</sup> <https://bucket.usantotomas.edu.co/>

La presente propuesta busca establecer las reglas de compresión que resultan más beneficiosas en la implementación del protocolo SCHC, en un entorno de implementación real de un sistema de monitoreo ambiental compuesto por dos nodos IoT en la universidad Santo Tomás sobre una red LoRaWAN.

El proyecto tiene una duración de 9 meses, un presupuesto total de \$136.334.100 de los cuales \$78.579.400 son contrapartida en especie de ITM Atlantique y de los desarrollos de la Alianza CEA IoT con presupuesto de colciencias en el año 2017. El equipo consta de 3 doctores, 2 ingenieros de investigación y 2 estudiantes de pregrado. El sistema de monitoreo ambiental a usar ha sido desarrollado dentro de la Maestría en Telecomunicaciones y regulación TIC con apoyo del CEA IoT.

## 9. Palabras clave

Internet de las cosas (IoT); SCHC; Mecanismos de compresión; LPWAN; LoRa

## 10. Planteamiento del problema y pregunta de investigación

Los grandes retos abordados para el despliegue de IoT en las tecnologías existentes, fueron el bajo consumo de energía por los dispositivos IoT y la amplia cobertura que las soluciones IoT requieren. Como resultado se desarrollaron redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) como LoRa y Sigfox. Una de las principales características de este tipo de redes es que los protocolos de comunicaciones usan una cabecera pequeña, con el fin de ser eficientes en términos de consumo energético.

Sin embargo, esta reducida cabecera limita la interconexión de los dispositivos IoT en redes LPWAN con Internet, y por lo tanto dificultan la escalabilidad de los servicios desplegados sobre ellas. Para solucionar esto se ha desarrollado la familia de protocolos SCHC (*Static Context Header Compression*) que buscan comprimir la cabecera de IPv6 en una cabecera que pueda ser soportada en las redes LPWAN.

La compresión propuesta por el protocolo SCHC puede requerir que el dispositivo IoT aumente su consumo de energía, y para conservar la ventaja que presentan las redes LPWAN es importante que el consumo de energía se afecte lo mínimo posible. Entonces, la pregunta a responder es: ¿Cómo optimizar el consumo de energía de un dispositivo con la implementación del protocolo SCHC en una solución IoT que funcione en LoRa?

# 11. Justificación

Con el fin de posibilitar la interconexión transparente de los dispositivos IoT en redes LPWAN con Internet, se crea la familia de protocolos de compresión de encabezados SCHC (*Static Context Header Compression*) que permiten comprimir un encabezado de Internet dentro de 2 o 3 bytes. Las especificaciones para esta nueva familia de protocolos se encuentran en proceso de desarrollo bajo los *Internet-Drafts* “*LPWAN Static Context Header Compression (SCHC) and fragmentation for IPv6 and UDP*” y “*LPWAN Static Context Header Compression (SCHC) for CoAP*”.

El grupo OCIF del IMT-Atlantique ha realizado algunas implementaciones experimentales de los protocolos SCHC. Para la comprobación de los Internet-draft mencionados anteriormente, el protocolo SCHC debe ser implementado, validado y probado en diferentes contextos y para diversas soluciones IoT. El desarrollo de este proyecto permitirá evaluar experimentalmente el comportamiento SCHC en la solución IoT del sistema de monitoreo ambiental que se desplegará en LoRa con 2 nodos dentro de la USTA, estableciendo las reglas de compresión que resultan más beneficiosas en la implementación del protocolo SCHC.

El impacto en cuanto a generación de conocimiento es la posibilidad de generar insumos para futuras mejoras de SCHC, además de los productos científicos comprometidos. Para el grupo INVTEL y el CEA-IoT se permitirá desarrollar, adquirir, y apropiar competencias y conocimientos en lo concerniente a los protocolos de comunicaciones para redes LPWAN, lo que generará la posibilidad de emprendimientos basados en dispositivos LoRa, impacto de currículo manteniendo a los docentes actualizados en temas de vanguardia, y por lo tanto a los estudiantes.

# 12. Objetivo general

Establecer las reglas de compresión que resultan más beneficiosas en la implementación del protocolo SCHC, en un entorno de implementación real de un sistema de monitoreo ambiental compuesto por dos nodos IoT en la universidad Santo Tomás sobre una red LoRaWAN.



## 13. Objetivos específicos

- Identificar los mecanismos y parámetros asociados a la compresión de encabezados en protocolos de comunicaciones en redes LPWAN para su interconexión con IPv6.
- Profundizar en la propuesta del protocolo SCHC, implementarlo y validarlo en el sistema de monitoreo ambiental de 2 nodos IoT en la Universidad Santo Tomás sobre una red LoRaWAN.
- Definir un conjunto de reglas de compresión aplicables al protocolo SCHC sobre el sistema desplegado, basados en mecanismos y parámetros identificados.
- Evaluar el comportamiento de las reglas de compresión definidas, a través de la medida del tráfico generado por los nodos y el cálculo del consumo de energía de los mismos.

## 14. Marco teórico

En la actualidad, Internet de las Cosas (IoT) es un campo muy activo para la investigación, experimentación y desarrollo de nuevas aplicaciones. Para el despliegue de las soluciones de IoT se han desarrollado recientemente un nuevo tipo de redes conocido como LPWAN (Low Power Wide Area Network) [1], que permiten una gran cobertura y reducen drásticamente el consumo de energía [2]. De esta manera, los dispositivos IoT, especialmente de bajo costo, pueden operar durante más tiempo con baterías pequeñas y garantizar una cobertura cuyo costo también sea bajo.

Las redes LPWAN principalmente toman ventaja de las técnicas de modulación, sin embargo requieren la inclusión de capas superiores o protocolos que permitan el direccionamiento y la seguridad de la información y los dispositivos. Recientemente las redes LPWAN han ganado atención en implementaciones IoT debido a que se adaptan perfectamente a los tipos de dispositivos más comunes como sensores, actuadores y localizadores. Estos dispositivos solo requieren la transmisión de pequeños paquetes de datos, haciendo uso eficiente de la energía, por lo que las tecnologías generalmente no cumplen con todos los paradigmas que conforman a IoT ni con las necesidades de sus mercados [3]. Dos ejemplos de este tipo de redes son: Sigfox<sup>2</sup> y LoRaWAN<sup>3</sup>.

En el caso de LoRa, este es un esquema propietario (Semtech) de modulación de espectro ensanchado que fue derivado de la modulación CSS (Chirp Spread Spectrum). Su principal característica es que a cambio de una baja velocidad de datos presenta una

---

<sup>2</sup> <https://www.sigfox.com>

<sup>3</sup> <https://www.lora-alliance.org>

mayor sensibilidad, lo que permite lograr mayores alcances de transmisión. La anterior característica permitió dar el nombre a esta modulación ya que proviene de *Long Range* o largo alcance. Otra característica importante de esta modulación es su bajo consumo de energía, lo que permite hacer uso de pequeñas baterías en los dispositivos e incluso llegar a cambiarlas luego de varios años de uso [4].

Como es evidente, hasta el momento se han invertido grandes esfuerzos en la capa física para permitir transmisiones de largo alcance usando poca energía, pero la interconexión de dispositivos, la representación de la información e incluso la seguridad end-to-end no han sido aún investigadas a profundidad. El modelo actual de soluciones IoT implica una estrecha relación entre los dispositivos y la aplicación dedicada en la nube. Esto genera una fragmentación del mercado, impide la escalabilidad de desarrollos específicos y la administración de dispositivos, y los costos operacionales se incrementan con el paso del tiempo, a razón de la cantidad de dispositivos conectados [5]. Dichas consecuencias arruinan los beneficios conseguidos en el planteamiento y despliegue de las redes LPWAN.

Durante tres décadas, Internet ha sido la respuesta a esta fragmentación de servicios. Los protocolos IP y más específicamente la web han mostrado una convergencia en términos de protocolos, representación de la información, administración de dispositivos y seguridad, permitiendo la definición de servicios universales que puedan ser ejecutados en muchos tipos de terminales y que sean accesibles a través de diferentes tecnologías.

El IETF, organismo internacional a cargo de la definición del estándar para el protocolo de Internet, ya adaptó todos los protocolos necesarios para dispositivos con pocos kilobytes de memoria disponibles. Esto conlleva a una arquitectura de referencia centrada alrededor de CoAP/UDP/6LoWPAN en lugar de HTTP/TCP/IPv4 usados tradicionalmente en Internet. Este enfoque está ganando popularidad e incluso grandes plataformas de IoT como Tivity, LWM2M, oneM2M [6] y Zigbee SE están basadas en CoAP.

CoAP (Constrained Application Protocol) es un protocolo de transferencia web especializado para ser usado en dispositivos con capacidades de memoria y procesamiento limitadas y las redes a las cuales se conectan. Su función principal es permitirle a dichos dispositivos conectarse a Internet usando protocolos similares. Esto es posible con la adición de un pequeño encabezado a los paquetes que los nodos transmiten o reciben normalmente.

CoAP no utiliza propiamente los mismos protocolos de una red IP, pero son muy similares. Una petición CoAP es equivalente a una HTTP y, de igual manera, es enviada por el cliente para solicitar la ejecución de cierta acción sobre cierto recurso de la red. Las acciones se identifican con códigos de método (Method Codes) y los recursos se representan mediante URI o Identificador de Recursos Uniforme. CoAP, a diferencia de HTTP, realiza los intercambios de información de manera asincrónica sobre algún transporte que esté orientado a los datagramas, como en el caso de UDP. En la Fig. 1 se observa que CoAP es capaz de unir una capa de aplicación con una de transporte de

datagramas. De esta manera CoAP es un protocolo versátil que se puede adaptar fácilmente a redes existentes, en especial a aquellas que involucren IoT.

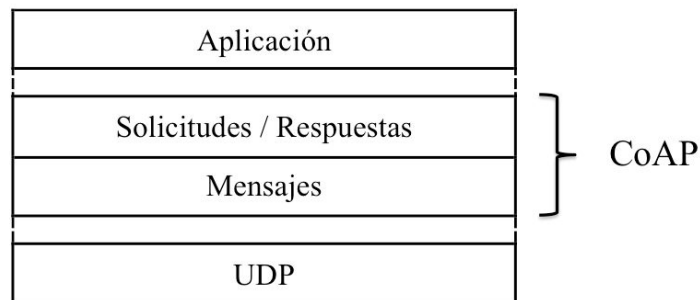


Figura 1. Pila de protocolos para CoAP

CoAP utiliza el intercambio de mensajes sobre UDP entre los nodos de la red. Un encabezado binario de tamaño fijo de 4 bytes se utiliza junto con opciones y carga útil en cada mensaje, ya sea petición o respuesta. También, cada mensaje contiene un ID que permite la detección de duplicados y mejora la confiabilidad en las transmisiones.

Es posible agregar un nivel adicional de confiabilidad marcando los mensajes como confirmables (CON). Esto hace que dichos mensajes se reenvíen cada cierto tiempo hasta que el nodo emisor reciba un acuse de recibo (ACK) por parte del nodo receptor. CoAP soporta el uso de direcciones IP de destino multicast, permitiendo el envío de peticiones a múltiples nodos de manera simultánea.

La semántica del modelo de solicitud/respuesta se incluye en cada mensaje ya sea un código de método (Method Code) o un código de respuesta (Response Code). Es decir que cada uno de estos códigos tiene un significado específico y debe ser extraído de los mensajes para su posterior uso. CoAP hace uso de los métodos GET, PUT, POST y DELETE de una manera similar a HTTP, pero con algunas leves variaciones [7].

Las aplicaciones implementadas sobre HTTP utilizan, generalmente, una capa de seguridad en el transporte llamada Transport Layer Security (TLS), la cual evita posibles escuchas y modificación de los mensajes en el canal que conecta a los nodos. CoAP también puede hacer uso (y es recomendable) de una capa de seguridad en el transporte, pero esta debe ser orientada a los datagramas. Para este caso se usa un protocolo llamado Datagram Transport Layer Security (DTLS) que está basado en TLS y, al igual que este, preserva la semántica de los datagramas. De este modo, la inclusión de una capa de seguridad en CoAP no afecta la implementación de la capa de aplicación en cuanto al uso de la capa Solicitud/Respuesta [8].

En lo concerniente a la capa de transporte, el protocolo UDP permite la transferencia de datos empaquetados entre los nodos de una red IP. A estos paquetes se les conoce como datagramas. A diferencia del protocolo TCP, UDP no es orientado a la conexión, lo que

permite enviar información en cualquier momento sin haber establecido una conexión previamente entre dos o más nodos de la red. UDP no mantiene el control del flujo de los datos, por lo que los datagramas de información pueden llegar al destino en desorden e incluso nunca llegar. Estas características son adecuadas para aplicaciones que implementen este tipo de controles de flujo en otras capas del modelo OSI o que simplemente no lo necesiten. La principal ventaja de UDP sobre TCP es un menor tamaño de los paquetes, lo que permite maximizar el rendimiento de una red y de aplicaciones que requieran transmisiones más veloces [9].

Teniendo en cuenta que 6LowPAN está orientado a soportar IPv6 sobre redes de área personal, y que LPWAN son redes de área amplia se aborda IPv6, que es el protocolo de Internet versión 6 diseñado para reemplazar a IPv4. Este protocolo permite el direccionamiento de todos los dispositivos conectados a Internet. Debido a que las direcciones con IPv4 se agotaron, surgió la necesidad de crear un nuevo protocolo que permitiera un mayor número de direcciones. El crecimiento de Internet ha sido enorme durante los últimos años, a causa del número de usuarios y la conexión de dispositivos IoT. El nuevo protocolo de Internet permitió pasar de  $2^{32}$  a  $2^{128}$  direcciones disponibles [10].

Sin embargo, si estos esfuerzos de estandarización son exitosos, no consideran su uso en redes limitadas donde el intercambio de información está limitado a unos pocos paquetes al día, con enlaces altamente asimétricos. Recientemente, el IETF lanzó el grupo de trabajo LPWAN para definir un nuevo mecanismo de compresión adaptado a este tipo de entornos. Este grupo desarrolló una nueva familia de protocolos de compresión de encabezados llamada SCHC (*Static Context Header Compression*) que puede comprimir un encabezado de Internet completo (CoAP/UDP/IPv6) dentro de 2 o 3 bytes, lo que es compatible con las limitaciones de LPWAN [11].

De este modo, los dispositivos LPWAN son compatibles con otros dispositivos IP, es decir, se podría garantizar la interconexión de dispositivos LoRa o Sigfox con otros conectados a una red Wi-Fi, por ejemplo. Por lo tanto, las aplicaciones pueden usar de manera transparente la información provista por diferentes tipos de redes y variedad de dispositivos.

## 15. Metodología

El proyecto se divide en tres grandes paquetes de trabajo para lograr el objetivo del proyecto: uno teórico, otro de diseño experimental y otro experimental (Fig. 2):

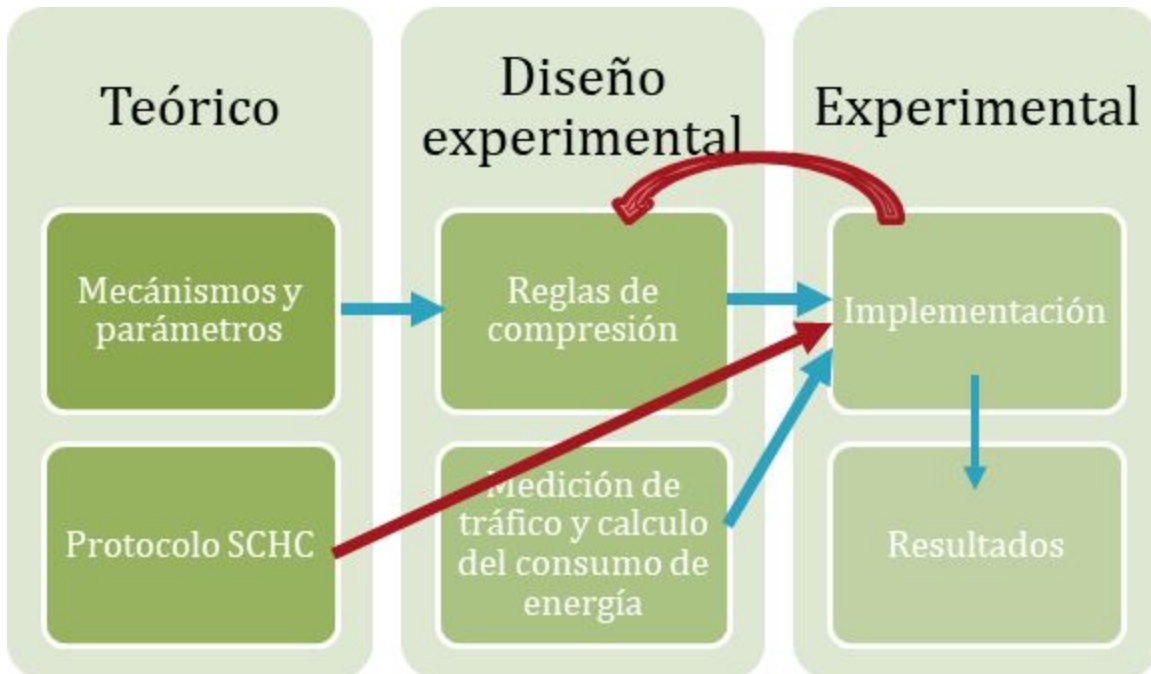


Figura 2. Metodología propuesta

- El paquete de trabajo **teórico** recoge todos los mecanismos y parámetros de compresión de encabezado, al igual que el funcionamiento y detalles del protocolo SHCH. El protocolo SCHC se implementará en una solución real LoRaWAN de un sistema de monitoreo ambiental, en el paquete de trabajo experimental
- En el **diseño experimental**, se define un conjunto de reglas de compresión de encabezados con base a los mecanismos y parámetros de compresión encontrados y las características propias de implementación de SCHC. También se elabora un protocolo de pruebas con base en la medida de tráfico, el cálculo de consumo de energía y el conjunto de reglas establecido.
- En la parte **experimental**, se hace a implementación del protocolo SCHC como línea base, para luego aplicar las reglas de compresión de manera que se pueda medir el tráfico del nodo y mediante comparaciones de tráfico se logre establecer cuál de las reglas es la que menos afecta el consumo energético.

El equipo de trabajo de la USTA tendrá reuniones cada 15 día con el fin de realizar seguimiento al avance del proyecto. Se prevé un intercambio y seguimiento continuo con el profesor Laurent Toutain del IMT-Atlantique. Se contemplan reuniones de seguimiento mensuales, el resto del intercambio se realizará vía correo electrónico y herramientas de trabajo colaborativo.

## 16. Resultados esperados

1. Apropiación del funcionamiento e implementación del protocolo SCHC.
2. Implementación de referencia del protocolo SCHC descrita en el draft de la IETF.
3. Reglas de compresión para la compresión de encabezados en redes LPWAN para interconexión con IPv6, en un entorno real.
4. Fortalecer las actividades de investigación del grupo INVTEL y del CEA-IoT.
5. Fortalecer las relaciones institucionales con IMT-Atlantique.
6. Entregables propuestos en el apartado del cronograma

## 17. Productos esperados

En la tabla 2 se muestran los productos esperados, cada uno de estos productos está asociado a uno de los resultados presentados en el apartado anterior.

Tabla 2. Productos esperados

Cantidad	Producto	Resultado asociado	Apartado de la tipología de productos Colciencias
1	Trabajo de grado de pregrado	1	2.1.3.4.3
1	Registro de software	2	2.1.3.2.1
1	Artículo de revista indexada o artículo de conferencia	3	2.1.3.1.1 o 2.1.3.3.4

## 18. Contribución del proyecto al cumplimiento de la misión institucional

1. Con qué líneas del PIM se vincula el proyecto:

La articulación con el PIM se da gracias a la línea de acción **Proyección social e investigación pertinentes**, la cual busca “Focalizar y articular la investigación y la proyección social USTA Colombia con visibilidad e impacto nacional y global”.

El proyecto es pertinente ya que trata una temática de interés internacional y actual, dado que aborda mediante la aplicación de conocimiento en SCHC un desarrollo tecnológico para verificar esta manera de interconexión de redes LPWAN usadas en IoT con Internet.

Además, el trabajo realizado por la universidad Santo Tomás puede lograr una visibilidad internacional gracias a la cooperación con investigadores de ATM-Atlantique expertos en la temática y actores importantes en la publicación de recomendaciones internacionales. Que la realización efectiva y eficiente de este proyecto puede abrir la puerta a colaboraciones de mayor nivel, llevando la investigación del grupo INVTEL a un plano internacional lo que sin duda alguna es un impacto nacional importante.

2. Con qué acciones del Plan General de Desarrollo Bogotá (PGDB), se articula el proyecto:

La articulación se da en la línea de acción 3 **Proyección social e investigación pertinentes**. Este proyecto en el punto 3.1.2 permitirá generar capacidades de investigación de alto nivel ya que está articulado con instituciones internacionales y la temática es realmente actual e innovadora. Capacidades que una vez adquiridas y desarrolladas nos pueden llevar a estrategias de proyección social como emprendimiento, consultoría y formación continua. En el punto 3.3.1. la experiencia en la ejecución del proyecto puede ayudar a establecer las buenas prácticas de la sede en relación con proyectos en cooperación internacional directamente con los investigadores de otras instituciones fortaleciendo el convenio existente con IMT Atlantique e impactando el punto 3.5.1. Finalmente sin duda impactar el punto 3.4 incrementando la producción investigativa mediante los productos comprometidos.

## 19. Presupuesto

Teniendo en cuenta que la asignación de la nómina de los docentes se hace por todo el año aunque el proyecto se ejecute en 9 meses, y que la inversión del programa en investigación para efectos del CNA debería ser verificable mediante estos proyectos, el presupuesto de los investigadores de la Universidad se hace por 12 meses.

Tabla 3. Presupuesto del proyecto

<b>Recurso solicitado FODEIN</b>		
Concepto	Descripción	Monto
Personal científico	Angela Tatiana Zona Ortiz Nivel 4 - 12 meses - 30 h/mes 360 horas - 25%	\$ 19.052.820
	Felipe Díaz Sánchez Nivel 4 - 12 meses -20 h/mes 240 horas -17%	\$ 12.701.880
	<b>Total contrapartida facultad</b>	<b>\$ 31'754.000</b>

Auxilio a investigadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luis Felipe Castro - Trabajo de grado -216 horas.</li> <li>Estudiante de pregrado - Apoyo a la investigación.</li> </ul>	\$ 1.000.000
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Compra de equipos de un cómputo propio para investigación, fortaleciendo la capacidad para brindar puestos de trabajo.</li> <li>Tarjetas para poner a punto el sistema de monitoreo ambiental.</li> </ul>	\$ 2.000.000
Publicaciones	Inscripción a congreso	\$ 1.500.000
Servicios técnicos	Contratación persona natural Camilo Ricardo Rojas 9 meses - 960 horas - 66%	\$ 18.000.000
Movilidad académica	Pasajes, hospedaje asistencia a congreso	\$3.500.000 0
	<b>Recurso solicitado FODEIN</b>	<b>\$ 26'000.000</b>
	<b>Total USTA</b>	<b>\$ 57'754.700</b>
<b>Contrapartida externa</b>		
<b>Institución</b>	<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
IMT-Atlantique Contrapartida especie	Laurent Toutain y Batiste Gaultier 9 meses - 25 h/mes 225 horas - 16%	12.456 euros, \$ 42'809.400 <sup>4</sup>
CEA-IoT Contrapartida especie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de monitoreo ambiental</li> <li>Plataforma bucket</li> <li>Estaciones LoRaWAN</li> </ul>	\$35.770.000
	<b>Total contrapartida externa</b>	<b>\$ 78'579.400</b>
	<b>Total proyecto</b>	<b>\$ 136'334.100</b>

20. El total de horas de dedicación al proyecto es de 1.841 horas, para un total de 1.27 tiempo completo efectivo, considerando que un tiempo completo durante 9 meses corresponde un total de 1.440 horas.

## 21. Cronograma

La Fig. 3 muestra el cronograma propuesto para el desarrollo de este proyecto, teniendo en cuenta la metodología y los objetivos planteados.

<sup>4</sup> 1 euro = 3.436,85 COP tasa de cambio a septiembre 20 de 2017.



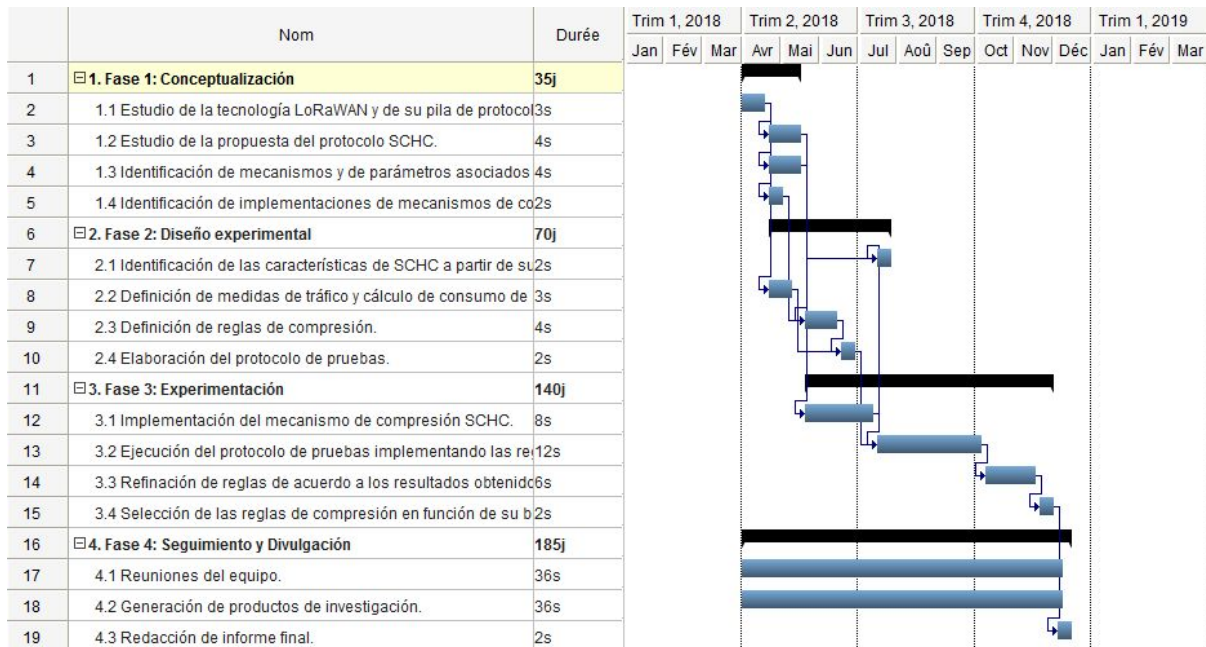


Figura 3. Diagrama de gantt para el cronograma del proyecto

## 1. Fase 1 - Conceptualización

Esta fase contempla todo el estudio teórico del funcionamiento de las redes LPWAN específicamente LoRaWAN, y del protocolo SHCH para identificar los mecanismos, parámetros e implementaciones de compresión de encabezados dentro de las referencias científicas, técnicas y estándares disponibles en la actualidad.

### 1.1. Estudio de la tecnología LoRaWAN y de su pila de protocolos.

Duración: 3 semanas

Entregable: Documento consolidado de la tecnología LoRaWAN

Recursos: Camilo, Tatiana, Luis Felipe

### 1.2. Estudio de la propuesta del protocolo SCHC.

Duración: 4 semanas

Entregable: Resumen de referencia del protocolo SCHC

Recursos: Camilo, Luis Felipe, Felipe, ITM-Atlantique

### 1.3. Identificación de mecanismos y de parámetros asociados a la compresión de encabezados en redes LPWAN

Duración: 4 semanas

Entregable: Documento de mecanismos y parámetros asociados a la compresión de cabeceras para redes LPWAN

Recursos: Camilo, Tatiana

- 1.4. Identificación de implementaciones de mecanismos de compresión de encabezados en redes LPWAN.  
Duración: 2 semanas  
Entregable: Estado del arte de implementaciones de mecanismos de compresión de encabezados  
Recursos: Camilo, Tatiana, ITM-Atlantique
2. Fase 2 - Diseño experimental  
Esta fase contempla el diseño experimental para la realización de las pruebas de las reglas de compresión de encabezado sobre la implementación SCHC en el sistema de monitoreo ambiental que funciona sobre un red LoRaWAN. Y por lo tanto todos los parametros y características necesarias para establecer el protocolo de pruebas.
  - 2.1. Identificación de las características de SCHC a partir de su implementación.  
Duración: 2 semanas  
Entregable: Documento con las características de SCHC identificadas experimentalmente  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique
  - 2.2. Definición de medidas de tráfico y cálculo de consumo de energía.  
Duración: 3 semanas  
Entregable: Documento con la definición de medidas de tráfico y de cálculo de consumo de energía  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe
  - 2.3. Definición de reglas de compresión.  
Duración: 4 semanas  
Entregable: Documento describiendo las reglas de compresión  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique
  - 2.4. Elaboración del protocolo de pruebas.  
Duración: 2 semanas  
Entregable: Protocolo de pruebas  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique
3. Fase 3 - Experimentación  
Contempla todas las actividades relacionadas con la implementación SCHC y la realización de las pruebas de las reglas de compresión de encabezado sobre la implementación SCHC en el sistema de monitoreo ambiental que funciona sobre un red LoRaWAN.
  - 3.1. Implementación de SCHC.  
Duración: 8 semanas

Entregable: Manual de instalación SCHC sobre una red LoRaWAN  
Recursos: Camilo, Felipe, Luis Felipe

- 3.2. Ejecución del protocolo de pruebas implementando las reglas de compresión.  
Duración: 12 semanas  
Entregable: Documento de resultados  
Recursos: Camilo, Felipe, Tatiana, Estudiante de pregrado
  - 3.3. Refinación de reglas de acuerdo a los resultados obtenidos luego de la implementación.  
Duración: 6 semanas  
Entregable: Anexo Descripción de las reglas de compresión describiendo la refinación.  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique
  - 3.4. Selección de las reglas de compresión en función de su beneficio.  
Duración: 2 semanas  
Entregable: Anexo Selección de reglas de compresión  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique
4. Fase 4 - Seguimiento y Divulgación  
El objetivo de esta fase es el seguimiento y explotación del proyecto mediante la realización de productos científicos y la generación de Iso verificables a entregar ante la unidad de investigación.
- 4.1. Reuniones del equipo  
Duración: 36 semanas  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique, Estudiante de pregrado
  - 4.2. Generación de productos de investigación.  
Duración: 36 semanas  
Entregables: Artículo de conferencia o de revista indexada.  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, ITM-Atlantique
  - 4.3. Redacción de informe final.  
Duración: 2 semanas  
Entregables: Informe final.  
Recursos: Camilo, Tatiana, Felipe, Estudiante de pregrado

## 22. Posibles evaluadores

### **Gustavo Adolfo Puerto Leguizamon - Investigador Asociado (COLCIENCIAS)**

Doctor en telecomunicaciones - Universidad Politécnica de Valencia

Profesor Universidad Distrital

Facultad de Ingeniería de Electrónica

[gustavo.puerto@gmail.com](mailto:gustavo.puerto@gmail.com) - [gapuerto@udistrital.edu.co](mailto:gapuerto@udistrital.edu.co)

### **César Pedraza - Investigador Junior (COLCIENCIAS)**

Doctor en informática - Universidad Rey Juan Carlos

Profesor Universidad Nacional

Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

[capedrazab@unal.edu.co](mailto:capedrazab@unal.edu.co)

## 23. Bibliografía

[1] C. Goursaud, J.-M. Gorce, Dedicated networks for IoT: PHY/MAC state of the art and challenges. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 2015.

[2] "A technical overview of LoRa(R) and LoRaWAN(TM)," 2015. [En línea]. LoRa Alliance.

Disponible en:

[https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf)

[3] "Internet of Things: Science Fiction or Business Fact?" 2014. [En línea]. Harvard

Business Review. Disponible en:

[https://hbr.org/resources/pdfs/comm/verizon/18980\\_HBR\\_Verizon\\_IoT\\_Nov\\_14.pdf](https://hbr.org/resources/pdfs/comm/verizon/18980_HBR_Verizon_IoT_Nov_14.pdf)

[4] "LoRa(TM) Modulation Basics," 2015. [En línea]. Semtech Corporation. Disponible en:

<http://www.semtech.com/images/datasheet/an1200.22.pdf>

[5] L. Columbus "Roundup Of Internet Of Things Forecasts And Market Estimates," 2016.

[En línea]. Forbes Media LLC. Disponible en:

<https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2016/11/27/roundup-of-internet-of-things-forecasts-and-market-estimates-2016/#7fa4fbe1292d>

[6] David Boswarthick (Editor), Omar Elloumi (Editor), Olivier Hersent (Editor) M2M

Communications: A Systems Approach, SBN: 978-1-119-99475-6, Wiley

[7] Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann, "RFC 7252 - The Constrained Application Protocol (CoAP)," 2014. [En línea]. The Internet Engineering Task Force. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc7252>

[8] E. Rescorla, N. Modadugu, "RFC 6347 - Datagram Transport Layer Security Version 1.2," 2012. [En línea]. The Internet Engineering Task Force. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc6347>

[9] J. Postel, "RFC 768 - User Datagram Protocol," 1980. [En línea]. The Internet Engineering Task Force. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc768>

[10] S. Deering, R. Hinden, "RFC 2460 - Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification," 1998. [En línea]. The Internet Engineering Task Force. Disponible en: <https://tools.ietf.org/html/rfc2460>

[11] A. Minaburo, L. Toutain, C. Gomez, PWAN Static Context Header Compression (SCHC) and fragmentation for IPv6 and UDP, draft-ietf-lpwan-ipv6-static-context-hc, work in progress.

## **24. Anexo A. Carta de intención IMT-Atlantique**