



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ESTUDIO DEL IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA TRANSICIÓN DE INTERNET AL INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA EL CASO COLOMBIANO.

Ing. Luis Carlos Luis García

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial
Bogotá, Colombia
2014

ESTUDIO DEL IMPACTO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA TRANSICIÓN DE INTERNET AL INTERNET DE LAS COSAS (IoT) PARA EL CASO COLOMBIANO.

Ing. Luis Carlos Luis García

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones

Director (a):

PhD. Jorge Eduardo Ortiz Triviño

Línea de investigación:

Redes y Sistemas de Telecomunicaciones

Grupo de Investigación:

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Sistemas e Industrial

Bogotá, Colombia

2015

A Dios, que permitió el desarrollo de este trabajo.

A mis padres Ruth Nelsy y Luis Alfonso por su valioso apoyo sin el que hubiera sido imposible la consecución de este trabajo y por su gran aporte a mi formación tanto personal como profesional.

A Karen por su comprensión, afecto y compañía que me brindo fuerzas para continuar, sin importar los obstáculos que se presentaron en el camino.

“El único hombre que no se equivoca es el que nunca hace nada”

Johann Wolfgang von Goethe

Agradecimientos

A mi familia

A mi familia por su apoyo en cada etapa de este proyecto y de mi desarrollo personal y profesional logrando avanzar cada día más en mi formación y para cumplir las nuevas metas que se pongan en mi camino.

A mi director de Tesis

Ingeniero Jorge Eduardo Ortiz Triviño por su colaboración y guía en el desarrollo de este proyecto que fue fundamental para su consecución.

A la Universidad Nacional de Colombia

Por ser la mejor universidad del país y que con su nivel de formación y pluriculturalidad me hizo crecer como persona y profesional.

Resumen

El estudio describe los diferentes aspectos técnicos necesarios para la implantación del Internet de las cosas en Colombia, el estado actual de la infraestructura de las empresas líderes en el sector de las telecomunicaciones y el impacto económico que esta transición conlleva a nivel del hogar y de la industria.

Palabras clave: Internet de las Cosas, Internet, IPv6, Redes de Nueva Generación, Redes de Sensores.

Abstract

The study describes the different technical aspects necessary for the implementation of the Internet of things in Colombia, its infrastructure status current of the leading companies in the telecommunications sector and the economic impact that this transition leads to the household and the industry level.

Keywords: Internet of Things, Internet, IPv6, Next Generation Networks, Sensor Networks.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVI
Introducción	1
1. Marco Teórico	3
1.1 Estado del arte de Internet.....	3
1.1.1 Historia.....	3
1.1.2 Tendencias	5
1.2 Estado del arte Redes Ad Hoc.....	9
1.2.1 Protocolo AODV.....	10
1.2.2 Redes Ad Hoc y el Internet de las Cosas	10
1.3 Estado del arte Redes De Sensores	11
1.3.1 Redes de sensores y el internet de las cosas	12
1.4 Estado del arte Redes De Nueva Generación	13
2. Internet de las Cosas	15
2.1 Definición del Internet de las Cosas.....	15
2.2 Arquitectura del Internet de las Cosas	18
2.2.1 Capa de aplicación.....	18
2.2.2 Capa de red	19
2.2.3 Capa de percepción	19
2.3 Principales tecnologías del Internet de las Cosas	20
2.3.1 RFID	20
2.3.2 Sensores.....	21
2.3.3 Nanotecnología	21
2.3.4 Tecnologías Inteligentes	21
2.4 Infraestructura para el Internet de las Cosas	22
2.5 Tendencias	22
2.6 Principales aplicaciones del Internet de las Cosas.....	23
3. Estudio Técnico del IoT	25
3.1 Infraestructura	26
3.2 Protocolos.....	29
3.3 Dispositivos Terminales	40

3.4	Simulaciones.....	42
3.4.1	Matriz de decisión.....	44
3.4.2	Escenarios de simulación	45
4.	Estudio del impacto económico del IoT	55
4.1	Estudios económicos de interés sobre internet.....	55
4.1.1	Estadísticas nacionales	55
4.1.2	Estadísticas Internacionales	58
4.1.3	Iniciativas Nacionales	61
4.2	Estudio económico (Diseño de encuesta).....	¡Error! Marcador no definido.
4.2.1	Encuesta.....	63
4.2.2	Diseño Muestral.....	64
4.2.3	Indicadores	66
4.2.4	Análisis de resultados encuesta.....	67
4.2.5	Evaluación de indicadores.	69
5.	Conclusiones y recomendaciones	73
5.1	Conclusiones.....	73
5.2	Trabajos futuros	74
A.	ANEXO: INSTALACIÓN Y ENTORNO DE SIMULACIÓN.....	75
	NS-2	75
B.	Anexo: Diseño de la encuesta.	81
	Marco Conceptual.....	81
	Objetivos.....	82
	Diseño Estadístico	83
	Bibliografía	91

Lista de figuras

Figura 1-1. ARPANET (Cuatro nodos iniciales 1969) [1].....	4
Figura 1-2. Red ad hoc [9]	9
Figura 1-3. Red de sensores ubicua [15]	12
Figura 1-4. Redes clásicas vs redes de nueva generación [18]	14
Figura 2-1. Internet de las cosas. [29].....	17
Figura 2-2. Tercera dimensión introducida por el IoT [29].....	18
Figura 2-3. Arquitectura de 3 capas de Internet de las cosas	19
Figura 2-4. Modelo de referencia IoT. [32]	20
Figura 2-5. Aplicaciones para un mundo inteligente. [42].....	24
Figura 3-1. Conexión a Internet en los hogares colombianos. [43]	27
Figura 3-2. Suscriptores del servicio de Internet en Colombia [45]	28
Figura 3-3. Registro Regional de Internet (RIR) [46].....	30
Figura 3-4. Aplicativo Web Calidad Celular. [49].....	32
Figura 3-5. Medidor de velocidad aplicación Calidad Celular [49].....	34
Figura 3-6. Velocidad red de datos de Claro. Municipios con más de 200.000 Habitantes	36
Figura 3-7. Velocidad red de datos de Movistar. Municipios con más de 200.000 Habitantes	37
Figura 3-8. Velocidad red de datos de Tigo. Municipios con más de 200.000 Habitantes	37
Figura 3-9. Comparación de velocidad entre operadores	38
Figura 3-10. Nacimiento del IoT y Crecimiento de Internet. [51]	41
Figura 3-11. Representación Internet de las Cosas [51]	42
Figura 3-12. Escenario 1 de Simulación nam.	46
Figura 3-13. Paquetes entregados y recibidos escenario 1.	47
Figura 3-14. Porcentaje de paquetes recibidos por el nodo central Escenario 1.	47
Figura 3-15. Resultados escenario 1.	48
Figura 3-16. Escenario 2 de simulación en nam.	48
Figura 3-17. Paquetes entregados y recibidos escenario 2.	49
Figura 3-18. Porcentaje de paquetes recibidos por el nodo central Escenario 2.	49
Figura 3-19. Resultados escenario 2.	50
Figura 3-20. Escenario 3 de simulación en nam.	50
Figura 3-21. Paquetes enviados y recibidos escenario 3 con 50 nodos.....	51
Figura 3-22. Porcentaje de paquetes entregados escenario 3 con 50 nodos.....	52
Figura 3-23. Resultados Escenario 3 con 50 nodos.....	52
Figura 3-24. Resultados 100 Nodos	53

Figura 4-1. Porcentaje de Hogares con computador [55]	56
Figura 4-2. Porcentaje de Hogares con conexión a Internet. [55]	57
Figura 4-3. Distribución de razones por las que los hogares no tienen acceso a Internet [56].....	58
Figura 4-4. Porcentaje de personas usando Internet en Colombia. Datos tomados de [57]	59
Figura 4-5. Composición del total de visitantes de Internet. [58].....	60
Figura 4-6. Principales categorías visitadas por los colombianos en Internet. [59]	61
Figura 4-7. Distribución de encuestados por Estrato Económico del Hogar	67
Figura 4-8. Distribución de encuestados por nivel de formación.....	68
Figura 4-9. Distribución de encuestados por edades.....	68
Figura 4-10. Distribución de encuestados por ocupación.	69
Figura A-1. Entorno gráfico NAM	75
Figura B-1 Diagrama del proceso general del diseño de encuestas. Adaptado de: [67].	82
Figura B-2. Modalidad de captación de datos [67]	84
Figura B-3. Información básica de la encuesta.....	87
Figura B-4. Sección: Tecnologías del Internet de las Cosas encuesta.	88
Figura B-5. Sección: Conocimiento del Internet de las Cosas de la encuesta.	89

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1. Velocidad de red de datos en las ciudades principales de 3 operadores.....	34
Tabla 3-2. Velocidad promedio operadores ciudades con más de 200.000 Habitantes..	38
Tabla 3-3. Matriz de decisión: Simulador	44
Tabla 4-1. Resultados Prueba Piloto.....	64
Tabla 4-2. Actividades que se deberían realizar de manera automática.....	71
Tabla A-1. Campos del archivo .tr.....	78

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término
<i>FINN</i>	Future Internet Design
<i>AODV</i>	Ad Hoc On Demand Vector
<i>DSDV</i>	Destination Sequenced Distance Vector
<i>DSR</i>	Dynamic Source Routing
<i>FIRE</i>	Future Internet Research and Experimentation
<i>AKARI</i>	Architecture Design Project
<i>IoT</i>	Internet of Things (Internet de las Cosas)
<i>WSN</i>	Redes de sensores Inal
<i>NGN</i>	Redes de próxima generación
<i>IANA</i>	Internet Assigned Numbers Authority (Autoridad de asignación de números de Internet)
<i>4^a</i>	Anywhere, Anytime, by Anyone and Anything (Cualquier lugar, cualquier momento por cualquier persona y cualquier cosa)
<i>ISP</i>	Internet service providers (Proveedores de servicios de Internet)
<i>NIR</i>	National Internet Registry
<i>ARPA</i>	Advanced Research Projects Agency (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada)
<i>IMP</i>	Interface Message Processor
<i>IFQ</i>	Interface priority queue (cola de prioridad de la interfaz)
<i>CCCE</i>	Cámara Colombiana de Comercio Electrónico
<i>MINTIC</i>	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística

Introducción

En el mundo las tecnologías tienden a pasar de ser moda a ser parte de nuestra vida cotidiana y cada día es más fuerte el vínculo de las personas con la tecnología en especial con el uso de Internet, el Internet de las Cosas busca la masificación de Internet en el que ya no solo las personas son las que se conectan a la red sino gran variedad de dispositivos que cada día irán adquiriendo mayor inteligencia hasta lograr que tareas repetitivas y en muchos casos tediosas para las personas se realicen de manera automática y las personas simplemente acceden a la información de todos estos procesos a través de Internet.

Este estudio describe los diferentes aspectos técnicos necesarios para la implantación del Internet de las Cosas en Colombia, el estado actual de la infraestructura de las empresas líderes en el sector de las telecomunicaciones y el impacto económico que esta transición traerá a nivel del hogar y de la industria mostrando unas simulaciones de los primeros sistemas que se pueden desarrollar con el Internet de las Cosas.

El documento está estructurado en 4 capítulos que se describen a continuación:

Primer capítulo: Se realiza un marco de referencia de las principales tecnologías que se encuentran involucradas o son claves para el despliegue del Internet de las Cosas.

Segundo capítulo: Se analizan las diferentes características del Internet de las Cosas, su arquitectura, la infraestructura utilizada en el IoT, las tendencias y aplicaciones a nivel mundial de esta tecnología.

Tercer capítulo: Se realiza el estudio del impacto técnico del IoT teniendo en cuenta los diversos factores de relevancia encontrados en los dos primeros capítulos enfocados al caso colombiano, específicamente en cuanto a infraestructura, protocolos y dispositivos terminales y por último se realizan simulaciones de algunos escenarios que se puede generar con el Internet de las Cosas.

Cuarto capítulo: Se tratan los diferentes aspectos económicos que puede traer la transición hacia el Internet de las Cosas a partir de estudios y estadísticas relacionadas con el tema a nivel nacional e internacional y de un estudio por medio de un modelo de encuesta para medir el impacto económico que esta tecnología traerá al país.

1. Marco Teórico

1.1 Estado del arte de Internet

Internet ha generado una revolución sin precedentes en el mundo de la informática y de las comunicaciones. Antes de Internet inventos como el telégrafo, teléfono, radio y el computador generaron las bases para el gran éxito que ha tenido Internet integrando las diferentes ventajas de los diferentes sistemas de comunicaciones creados hasta su aparición, lo que lo hace un sistema potencializado y que logra la interacción de las personas y el tránsito de la información a nivel mundial, es por esto que vamos a hacer una revisión breve de la historia y las principales tendencias de Internet en la actualidad.

1.1.1 Historia

Plantear el inicio de Internet en un solo punto de la historia es una tarea complicada porque el descubrimiento del Internet fue gracias al desarrollo de diferentes investigaciones en varios temas que lograran esta revolución de información llamada Internet, en cada elemento de la infraestructura de Internet se encuentran precursores que impulsaron los desarrollos, la infraestructura actual no apareció de la nada fue necesario el desarrollo de dos temas independientes por un lado el desarrollo de la conmutación de paquetes, generando la teoría de redes de datos, la arquitectura y su implementación, y el segundo elemento la creación de ARPA esta agencia fue la institución encargada de financiar e implementar esta tecnología, la fusión de los dos elementos se realizó a mediados de la década de 1960 lo cual condujo a ARPANET. [1]

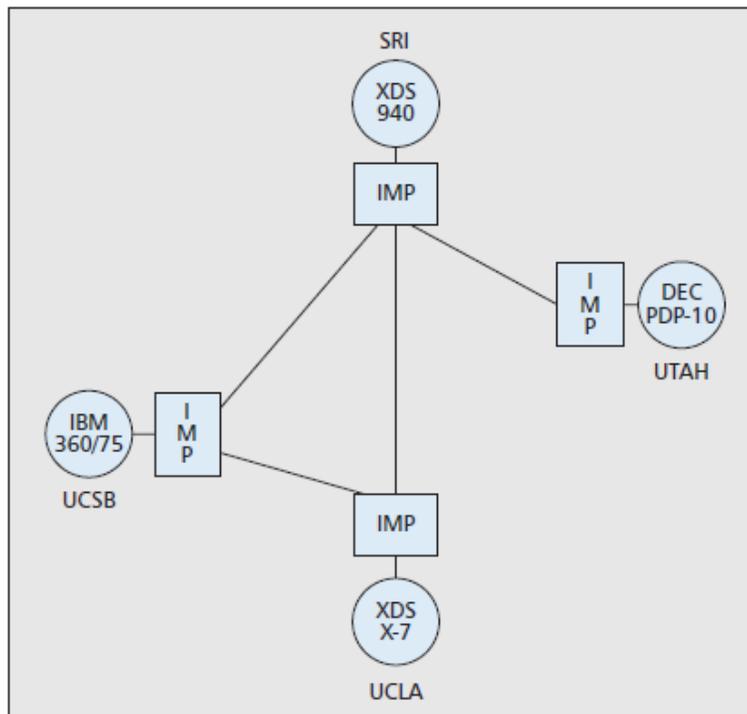
La primera descripción registrada de interacción social por medio de la red son una serie de memorandos escritos por J. Licklider del MIT, en agosto de 1962, en la que entrega su concepto de “Red Galáctica”, imaginando un conjunto de ordenadores interconectados globalmente, a través de los que todo el mundo podría acceder rápidamente a datos y programas desde cualquier sitio, un año antes Kleinrock publicó el primer documento sobre

la teoría de conmutación de paquetes y en 1964 el primer libro sobre el tema, dando factibilidad a la comunicación por paquetes en vez de por circuitos lo que dio un gran avance a las redes informáticas, otro paso importante fue conseguir la comunicación entre dos ordenadores que se logró en 1965 al conectar el ordenador TX-2 en Massachusetts con el Q-32 en California por medio de la línea telefónica conmutada de baja velocidad logrando crear la primera red de área amplia del mundo, y evidenciando que se podría lograr que los computadores pueden interactuar, ejecutar tareas al mismo tiempo solo que la red telefónica no era el medio más adecuado para hacerlo.

En 1969 BBN instalo el primer IMP en UCLA y se conectó el primer host en el Standford Research Institute (SRI) se tuvo el segundo nodo, un mes después de la conexión del segundo no se envió el primer mensaje de host a host desde el laboratorio de Kleinrock en UCLA hasta el SRI, se añadieron dos nodos más en la Universidad de California en Santa Bárbara y en la Universidad de Utah de esta manera a finales de 1969 se tenían 4 hosts conectados en la etapa inicial de ARPANET dando inicio a la trayectoria de Internet. [2]

La estructura inicial de ARPANET se muestra en la Figura 1-1.

Figura 1-1. ARPANET (Cuatro nodos iniciales 1969) [1]



Para los desarrolladores se hizo evidente la necesidad del desarrollo de un protocolo o en realidad de una manera de poder controlar el sistema que habían creado, el primer intento de esto fue el desarrollo del protocolo NCP (Network Control Program) el cuál fue reemplazado por el TCP/IP que conocemos todos en la actualidad.

Después de la evaluación del sistema inicial de ARPANET de cuatro nodos se fueron agregando más redes e IMPs en ARPANET en 1971 se crean los TIPS (Terminal interface processor) en los cuales ya no era necesario conectar un host para conectarse a la red de ARPANET lo que genera mayor facilidad de conexión a la red, este mismo año se crea el modelo de correo en el cual se puede pasar mensajes entre varios computadores usando un programa de intercambio de archivos experimental llamado CPYNET, lo que al difundirse dio las bases para lo que se conoce hoy en día como correo electrónico.

A partir de la expansión de esta red en el mundo se ha llegado a lo que en la actualidad se conoce como Internet que es una red mundial que cada día se expande más y tiene mayor implantación en el mundo, el servicio más conocido y difundido de Internet es la WWW (World Wide Web) que es una colección de sitios Web junto a sus contenidos Web, cada día nuevos sitios aparecen y otros desaparecen y se realiza una actualización continua de estos. [3]

1.1.2 Tendencias

En la actualidad se están desarrollando proyectos a nivel global tales como FIRE en la Unión Europea, FIND en Estados Unidos de América y AKARI en Japón para el fortalecimiento de Internet en diferentes campos, esto en marco de dos metodologías, la primera con un enfoque evolutivo y otra de enfoque revolucionario, el enfoque evolutivo trata de pasar del estado actual a un nuevo estado el Internet a través de parches incrementales, esto es lo que se ha venido realizando los últimos 30 años con un gran éxito, pero debido al auge de Internet se ha llegado a un punto donde se presentan grandes dificultades para seguir experimentando con la arquitectura actual por su grado de complejidad. [4]

El enfoque revolucionario es una actividad de investigación de Clean-Slate (Borrón y cuenta nueva) en la búsqueda de nuevas tecnologías de red para superar los límites de la Internet actual. [5]

A partir de estos enfoques y los diferentes proyectos alrededor al tema se han establecido unos pilares sobre los cuales desarrollar el Internet del Futuro los cuales son: Internet del

Conocimiento, Internet por y para las personas, Internet de los servicios e Internet de las Cosas este último sobre el cual se centra el desarrollo de esta tesis.

A continuación se realiza una breve descripción de los pilares del Internet del Futuro para contextualizar el desarrollo de este trabajo.

- **Internet por y para las personas**

Internet en un principio se planteó como una herramienta de laboratorio donde sus desarrollos iban principalmente enfocados a los aspectos tecnológicos, con la evolución de la red y su masificación la parte tecnológica perdió fuerza y cobro mayor importancia la comunicación que se realizaba por este medio, enfocándose en la transmisión de información entre personas, la forma en que estos la comparten e interactúan entre sí, tanto auge tiene la parte humana en la red que para muchos el Internet paso de ser una herramienta tecnológica a ser una herramienta que sus principales características están dadas por las personas que la utilizan “The Internet is the people”. [5]

Sin embargo para que Internet sea realmente de las personas esta debe adquirir algunos elementos que potencializan la capacidad de comunicación de las personas, como la movilidad para que las personas puedan acceder desde cualquier lugar con su equipo terminal y esta se adapte al entorno constantemente, hablar del Internet por y para las personas es generar servicios que siempre tengan en cuenta el contexto en el que se encuentra la persona a la que se le presta el servicio, es decir en donde se encuentran y realizando qué actividad las personas, para esto se necesita recolección de información personal que debe ser utilizada de manera adecuada sin afectar su privacidad, en el mundo actual todas las personas tienen diferentes gustos y preferencias por lo que la idea es convertir a los consumidores en “prosumers”, ayudando a los clientes a que se beneficien de la red ofreciéndoles servicios soportados con publicidad y con esto se hace necesario de mejores interfaces de usuario para los diferentes dispositivos que generen el aspecto de movilidad generalizada para tener la mejor experiencia de usuario posible, por supuesto, también se deben tener en cuenta a las personas con discapacidades para que ellos se sientan parte de Internet.

- **La Internet del conocimiento**

Este tipo de Internet apunta a generar una gran red de trabajo cooperativo para la generación de nuevo conocimiento de uso masivo, fortaleciendo los diferentes campos de la sociedad, como agricultura, ciencias, medicina etc, este Internet es un poco el que ve en la actualidad, solo que en él se busca generar mayor posibilidad de acceso al conocimiento sin tener tantas restricciones económicas para el desarrollo en especial de países subdesarrollados y mejorar la calidad de la educación de las personas en todo el mundo.

- **La Internet de los servicios**

El Internet de los Servicios es una visión de la Internet del Futuro, donde todo lo que se necesita para usar las aplicaciones de software está disponible como un servicio en Internet, como el propio software, las herramientas para desarrollar el software, la plataforma (servidores, almacenamiento y la comunicación) para ejecutar los programas. [6]

- **La Internet de las cosas**

La realización del concepto de ambiente inteligente es un objetivo a largo plazo de la Internet del Futuro. Por un lado se trata de utilizar las posibilidades que ofrecen la miniaturización de los sensores y actuadores. Los sensores permiten obtener todo tipo de información del entorno, desde la temperatura, la humedad, iluminación, etc. y transmitirla a lugares donde esta información se procesa y se utiliza para resolver posibles problemas y para adaptar los servicios a las personas que están allí. Pero, además, en relación con la Internet de las redes y los servicios, debe ser capaz de modificar los servicios para que estos se adapten, sin intervención directa a las posibilidades de los terminales y de las redes sobre las que se transmiten.

Los objetivos de diseño y requisitos generales del Internet del futuro son: Escalabilidad y ubicuidad, seguridad y robustez, movilidad, heterogeneidad, calidad de servicio, re-configurabilidad, conciencia del contexto, manejabilidad, está centrada en la información y aspectos económicos. [7]

Con estos objetivos y requisitos se espera lograr prestar diferentes tipos de servicios sobre la plataforma de Internet que buscan favorecer la utilización del tiempo de las personas y el desarrollo de las diferentes actividades diarias del ser humano, con este desarrollo se

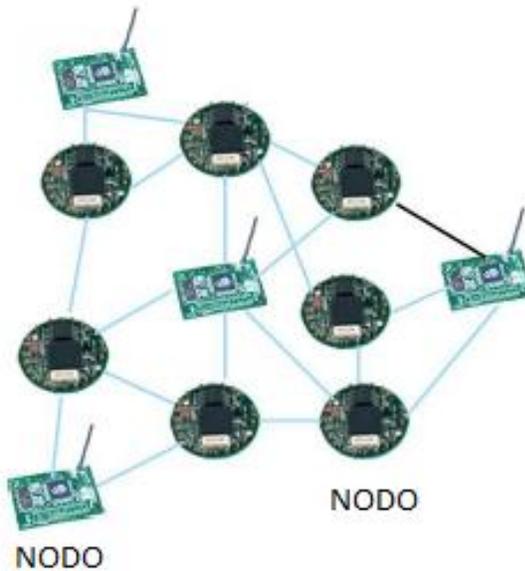
esperan crear servicios en las diferentes facetas de la vida de las personas como lo es el entretenimiento, actividades del hogar, actividades de la empresa hasta servicios de salud. Un aspecto que se hace relevante con el Internet del Futuro en especial en el entorno del Internet de las cosas es la asignación de direcciones para estos equipos, en la actualidad ya se está impulsando el nuevo protocolo de Internet IPv6 debido a que las direcciones del protocolo anterior (IPv4) ya han sido asignadas en su totalidad y eran insuficientes para las potencialidad de Internet en la actualidad y en el futuro, gracias al nuevo protocolo de Internet se logran alcanzar un número que satisface las necesidades actuales y futuras de Internet si su asignación se logra realizar de manera adecuada.

1.2 Estado del arte Redes Ad Hoc

En las redes Ad Hoc o sin estructura todos los nodos son móviles y pueden ser conectados dinámicamente de manera arbitraria. Todos los nodos se comportan como enrutadores y participan en el descubrimiento y mantenimiento de rutas a otros nodos de red. [8]

En la Figura 1-2 se muestra una Red Ad Hoc en la que varios elementos de red como Tablet, portátiles y celulares hacen uso de la red y tienen interacción entre ellos, esto evidencia que si algún elemento de la red se desplaza demasiado no podrá mantener la comunicación con los elementos con los que se comunica actualmente sino que buscare nuevos equipos más cercanos para ir generando nuevas rutas para la transmisión de información.

Figura 1-2. Red ad hoc [9]



Un aspecto importante de las redes Ad Hoc es que al tener todos sus nodos móviles para lograr la comunicación entre diferentes nodos de la red es necesario realizar rutas para el envío de la información en las cuales si el nodo de destino no está al alcance del nodo transmisor es necesario pasar por nodos intermedios para llegar al destino, para intentar solucionar este problema existen protocolos de enrutamiento que se encuentran en principalmente divididos en dos categorías: reactivos y proactivos, los protocolos proactivos mantienen tablas que almacenan la información de encaminamiento y periódicamente, o ante cualquier cambio en la topología de la red, disparan un mecanismo de propagación de actualización a través de la red, con el fin de mantener una idea real

del estado de la red, algunos ejemplo de este tipo de protocolos son DSDV, WRP, CGSR, FSRP, OLSR, en cambio los protocolos reactivos se caracterizan por iniciar un mecanismo de descubrimiento de ruta cuando una fuente necesita comunicarse con un destino al cual no sabe cómo llegar, algunos protocolos reactivos conocidos son los protocolos DSR y AODV. [10] [11]

De los protocolos mencionados anteriormente los más utilizados y difundidos son los protocolos DSDV, DSR y AODV, [11] [12] a continuación se describe el protocolo AODV ya que por ser reactivo produce consumos de energía menores a DSDV y tiene mejores capacidades que el DSR que también es reactivo, porque un aspecto importante en el Internet de las Cosas es buscar consumos bajos en la red ya que se tiene una gran proliferación de nodos a nivel mundial.

1.2.1 Protocolo AODV

Es un protocolo de enrutamiento de datos en redes móviles. Permite que los nodos de la red puedan comunicarse con nodos distantes (con los que no tienen comunicación directa) enviando mensajes a través de los nodos con los que tienen comunicación directa.

Para lograr este objetivo, en AODV se crean rutas en la red a través de las cuales puedan comunicarse nodos distantes. También se garantiza que las rutas creadas no contienen bucles y se busca obtener la ruta más corta posible. Este protocolo tiene la capacidad de manejar cambios dinámicos en las rutas y se puede crear nuevas rutas si se detecta un error en la comunicación entre dos nodos. [13]

1.2.2 Redes Ad Hoc y el Internet de las Cosas

En el Internet de las cosas se busca que millones de equipos estén interconectados transmitiendo su estado actual e información que puede ser de interés para el usuario o para algún operador de servicios y siempre de una manera dinámica cambiando su posición continuamente o en algunos casos con elementos estáticos como lo son electrodomésticos en el hogar que su rango de movimiento no es demasiado amplio ni es recurrente su desplazamiento, es por esto que las redes ad hoc en especial una parte de estas como lo son las redes de sensores son las que más se asemejan al comportamiento que se busca obtener en el Internet de las Cosas.

1.3 Estado del arte Redes De Sensores

Las redes de sensores proporcionan una nueva plataforma para percibir el mundo y procesar los datos. Se aplica ampliamente en muchos campos como: defensa militar, el control de la industria, el control de la agricultura, la gestión de la ciudad, biomedicina, mando a distancia para zonas de peligro, fabricación, etc. Las redes de sensores pueden ser alámbricas o inalámbricas pero en la actualidad los de mayor implantación son las redes inalámbricas ya que constan de un gran número de nodos que pueden ser capaces de realizar comunicación, computación y cooperación en el modelo Ad Hoc.

A partir de la implantación de sistemas basados en redes de sensores se busca automatizar y volver inteligentes las ciudades, este modelos de ciudad es en la que las diferentes variables que intervienen en los sistemas de la ciudad son medidas a través de sensores en una gran red de información, además de esto se busca agregar procesamiento a los elementos, con el que se puede generar inteligencia en los objetos, logrando que dependiendo del contexto los mismos elementos logren realizar acciones de mejoramiento y que el sistema sea estable, la aplicación de este tipo de sistemas la podemos encontrar a gran escala en la automatización de una ciudad completa, pero sus aplicaciones a una escala menor la encontramos en la automatización de los hogares (domótica) que es una de las aplicaciones más conocidas actualmente en el mundo.

En la actualidad es usual hablar de redes de sensores ubicuas (USN por sus siglas en inglés) este término es utilizado para describir las redes con nodos de sensores inteligentes que se pueden desplegar en 4ª, esta tecnología tiene un enorme potencial, ya que podría generar aplicaciones en una amplia gama de ámbitos civiles y militares, tales como garantizar el bienestar y la seguridad, monitoreo del medio ambiente y del hábitat, la asistencia sanitaria en tiempo real, detección de minas terrestres y sistemas de transporte inteligente (ITS). [14]

Los principales componentes de una USN son: [14] [15]

Red de sensores: Consta de sensores y una fuente de alimentación independiente (por ejemplo, batería, energía solar). Los sensores se pueden utilizar para recoger y transmitir información sobre su entorno.

Red de acceso USN: Es el Intermediario o “nodos intermedios” encargados de la obtención de información a partir de un grupo de sensores y facilitar la comunicación con un centro de control o con entidades externas

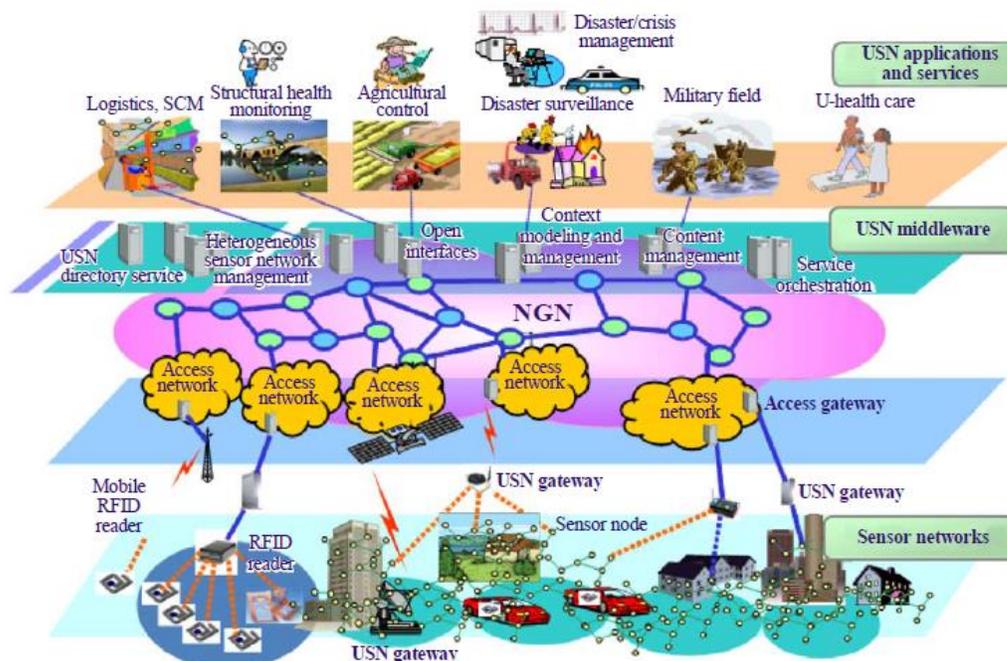
Infraestructura de red: Es probable que se base en una red de próxima generación (NGN);

USN *Middleware*: Software para la recolección y procesamiento de grandes volúmenes de datos.

Plataforma de aplicación USN: Una plataforma tecnológica para permitir el uso efectivo de un USN en un sector industrial determinado o aplicación.

En la Figura 1-3 se observa un modelo de una USN.

Figura 1-3. Red de sensores ubicua [15]



1.3.1 Redes de sensores y el internet de las cosas

Las redes de sensores son la parte esencial para lograr la proliferación del Internet de las Cosas en el mundo y lograr un sin número de aplicaciones que beneficiaran a las personas o empresas que las utilicen y a prestadores de este tipo de servicio generando nuevas oportunidades de negocio en términos de hardware y software necesario para la implementación de estas redes, en la Figura 1-3 se observan algunas de las aplicaciones posibles de este tipo de redes que se extienden al Internet de las Cosas.

1.4 Estado del arte Redes De Nueva Generación

El concepto de Red de Nueva Generación aprobado internacionalmente es el propuesto por la UIT el cual es: “Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha propiciadas por la QoS, y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios” [16]

Hoy en día existe una tendencia clara de integrar todo tipo de servicios en una única infraestructura de red IP (Internet Protocol), conocida como modelo “Todo IP” (All-IP) En la actualidad se sufre, con el uso masivo de Internet para todo tipo de servicios, debido a las carencias que tienen las soluciones IP clásicas en temas como capacidad, calidad de servicio, seguridad, fiabilidad y la capilaridad.

Frente a estos problemas el mercado va reaccionando ofreciendo todo tipo de soluciones, que combinadas de una manera adecuada crearán un modelo de red que permitirá que el cliente corporativo y el cliente doméstico dispongan de todo tipo de servicios imaginables. Este modelo es la Red de Próxima Generación o Next Generation Network (NGN). El Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) es el responsable en Europa de su desarrollo y estandarización.

El concepto NGN, se plantea como una solución para la convergencia de las redes con interfaces de alta velocidad, con seguridad y calidad garantizadas y que facilita el despliegue de los servicios, tanto actuales como futuros.

El modelo de negocio basado en NGN puede tener un prestación integrada por un proveedor al cliente final. O bien puede ser una combinación de los diferentes proveedores de contenido, servicios y red.

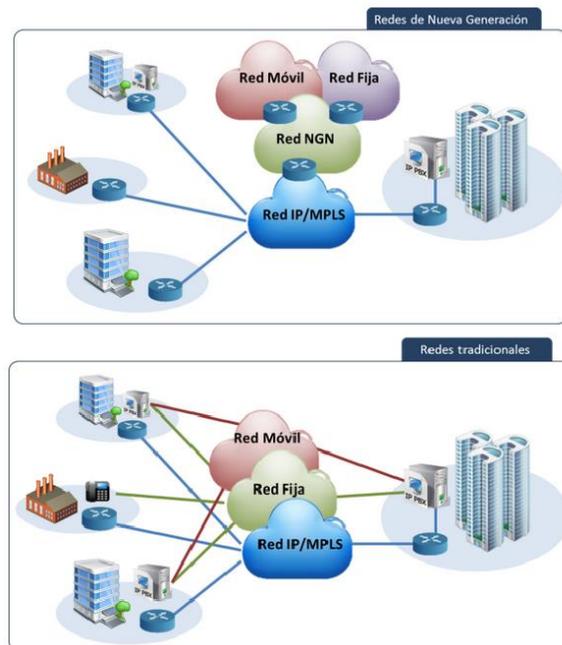
El proceso de evolución de la red clásica se hará en varias fases: primero la evolución del núcleo de la red hasta llegar al acceso. Se mantendrán las soluciones existentes mientras se produce la evolución, para que la transición no afecte el manejo actual de las redes, pero a su vez se irán introduciendo servicios creados que se basen en NGN e IPv6, del mismo modo los servicios actuales de voz, video y datos que se prestan con redes diferenciadas deberán migrar a la nueva red.

Este modelo NGN, estructurado en dos planos el del transporte y el de servicio, permite a cada uno de ellos evolucionar de manera independiente a medida que el mercado y las tecnologías lo permitan y facilita la migración a futuras tecnologías.

Los Servicios de Salud deben de realizar un enfoque global a toda solución de red que aspire a ser la base común sobre la que se desplieguen los servicios sanitarios, tanto actuales como futuros. Es posible que dicho enfoque sea visto por algunos como excesivamente ambicioso, pero no cabe duda de que sólo así se podrá alcanzar una solución realmente válida a medio y largo plazo. [17]

En la Figura 1-4 se muestra una comparación entre las redes clásicas en las que se tenía una para cada tipo de servicio y las redes de nueva generación en la que a través de la misma red se pueden prestar gran variedad de servicios.

Figura 1-4. Redes clásicas vs redes de nueva generación [18]



En resumen una red de próxima generación es una red todo IP sobre la cual se pueden prestar los diversos servicios de telecomunicaciones que necesitan de una infraestructura tanto de manera física como inalámbrica, con velocidades de transmisión según los estándares de banda ancha teniendo una gran importancia la QoS prestada al usuario.

2. Internet de las Cosas

En el actual proceso de crecimiento de Internet un nuevo desarrollo está en camino, es decir, la evolución de una red de computadores interconectados a una red de objetos interconectados (Internet of Things), la próxima generación de Internet será el Internet de las cosas, y la técnica de este Internet de los objetos analizará el espacio físico y el espacio de información a fondo. Un entorno inteligente universal se acopia para ofrecer el llamado servicio A7, las tecnologías de interacción inteligente es una técnica importante de apoyo para el logro de la fusión del espacio de información y el espacio físico en el Internet de las Cosas. Hoy en día, el punto clave es cómo mejorar la capacidad de interacción de los dispositivos móviles y la integración del espacio, combinando estrechamente la fusión del espacio de la computación con el espacio físico para que el servicio de computación sea omnipresente y esté disponible para los usuarios en cualquier momento y en cualquier lugar. [19] [20] [21]

2.1 Definición del Internet de las Cosas

Para definir de la mejor manera el Internet de las Cosas se va a dar una mirada a los diferentes conceptos generados a nivel global e integrarlos para generar una definición lo más completa posible, el Internet de las Cosas es una idea que se comenzó a desarrollar desde los años 90s a partir del ingreso del concepto de computación Ubicua que introdujo Mark Weiser director científico del Xerox Palo Alto Research Center (Parc), este concepto viene dado por la integración de los diferentes elementos cotidianos a través de la tecnología y el manejo de una gran red de información a través de una simple caja (PC) [22], pero el término en sí "Internet de las Cosas" parece haber sido creado por Kevin Ashton, que lo utilizó por primera vez en una presentación en la compañía Procter & Gamble, en 1998: "Adicionar identificación por radio frecuencia y otros sensores a objetos cotidianos creará una Internet de las Cosas, y sentará las bases de una nueva era de percepción de la máquina." [23]

El Internet de las cosas es una revolución tecnológica que representa el futuro de la informática y las comunicaciones, su desarrollo depende de la dinámica de innovación técnica en varios campos importantes, desde comunicaciones inalámbricas, sensores hasta nanotecnología, Internet se volverá una parte integral de varios aspectos de nuestra vida diaria, y los cambiará como corresponde. Las redes de suministro de electricidad, por ejemplo, serán una parte del universo de información del Internet. Podremos rastrear y administrar la demanda de electricidad y nuestros automóviles participarán en la generación así como en el consumo de electricidad. Al compartir información a través de Internet acerca de los dispositivos y sistemas que consumen y producen energía, podremos volverlos más eficientes. [24] [25]

“El Internet de las Cosas busca darle identidad a los objetos, interconectarlos e integrarlos en la red, otorgándoles un papel en el Internet del Futuro, permitiéndoles intercambiar información sin la necesidad de interacción humana. Ningunas de estas interacciones necesitan ser verbales o comprensibles por un ser humano, pero necesitan ser estandarizadas y comprensibles por cualquier dispositivo que necesite intercambiar dicha información” [26], por el momento esto implica que el Internet de las Cosas tendrá numerosos nodos conectados con diferentes tecnologías y normas de comunicación. Una gran parte de los nodos serán para grabar, transmitir y almacenar los datos e información a partir de nodos intermedios que recuperaran y analizaran el consumo, estos datos o información no se transmitirán siempre de forma continua ya que en muchos casos esta información no es de uso urgente para cumplir con sus objetivos, un aspecto que se debe tener en cuenta es la posibilidad que las tecnologías para la gestión de datos actual puede quedar limitada para la gestión de toda la información que se generará en el Internet de las Cosas, por esto la importancia de realizar estudios al respecto de este tema y buscar alternativas para su manejo. [26] [27]

También se puede considerar el Internet de las Cosas como una aplicación especial de la Web Semántica que pretende realizar el procesamiento intelectual y compartir de forma más amplia la información del producto basado en la plataforma de la Web Semántica. La importancia de esta clasificación es que los resultados de investigación y la tecnología avanzada en la Web Semántica se pueden utilizar como referencia con el fin de acelerar la realización de Internet de las Cosas. [28]

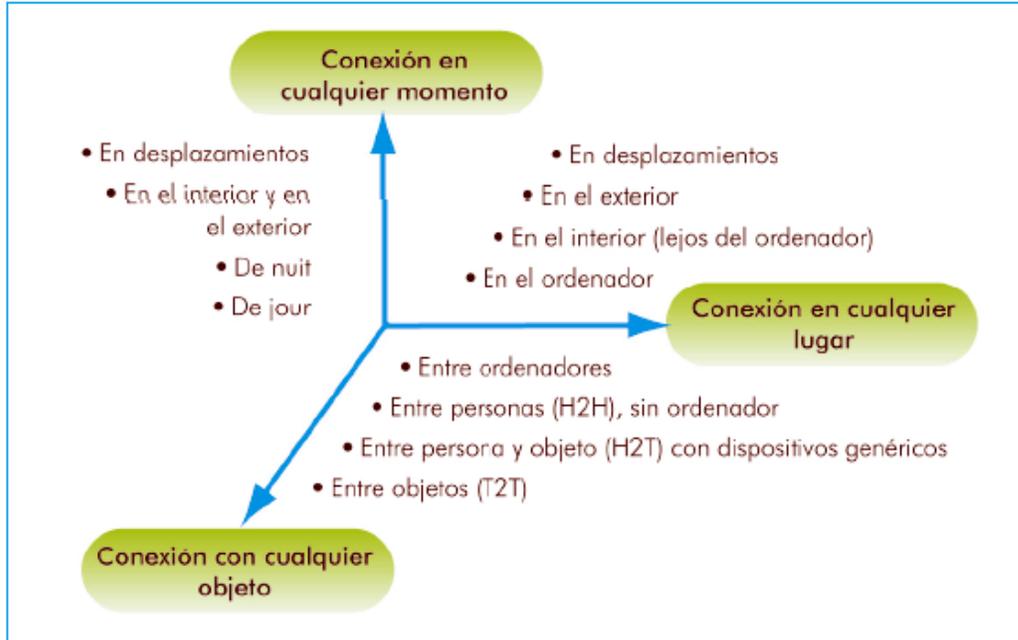
Una visión general de Internet de las Cosas basada en lo descrito anteriormente se muestra en la Figura 2-1:

Figura 2-1. Internet de las cosas. [29]

De esta forma un concepto para el Internet de las Cosas que recoge las ideas de diferentes ámbitos del mundo sería:

Una gran red de información, basada en elementos electrónicos con reconocimiento de su entorno e inteligencia propia, para facilitar desde tareas cotidianas hasta procesos industriales complejos, generando bienestar en primera instancia al usuario y a nivel macro a comunidades enteras.

En el Internet de las cosas se agrega una nueva dimensión a la comunicación manejada en los sistemas de comunicación actuales, en la que se busca tener comunicación en cualquier momento y lugar, con la incorporación de un nuevo elemento en la comunicación como son las cosas que tendrán respuestas autónomas, esto genera la nueva dimensión en la cual se tiene comunicación entre los computadores, entre humanos sin computadores, de un humano a una cosa y entre cosas esta última que viene dada por todas las tecnologías involucradas en IoT como lo son los sensores, actuadores, inteligencia artificial, entre otras, estas dimensiones de las comunicaciones en el IoT son mostradas en la Figura 2-2.

Figura 2-2. Tercera dimensión introducida por el IoT [29]

Esta nueva dimensión se hace muy importante por la interacción de los objetos con el medio y la transmisión continua de sucesos o cambios relevantes en las mediciones de los sensores y las acciones realizadas automáticamente por las cosas basadas en las tecnologías de inteligencia artificial y de automatización que cada día avanzan más en el control de los diferentes elementos de una red.

2.2 Arquitectura del Internet de las Cosas

El primer modelo de la arquitectura del Internet de las cosas se compone de 3 capas principales las cuales son: la capa de percepción, la capa de red y la capa de aplicación, como se muestra en la Figura 2-3, para entender de mejor manera este modelo a continuación se explicaran de forma general las diferentes capas.

2.2.1 Capa de aplicación

En la capa de aplicación se utiliza la computación en la nube, reconocimiento difuso y otras tecnologías de computación inteligente para analizar y procesar grandes cantidades de datos e información y el control inteligente de la aplicación de los objetos. [30]

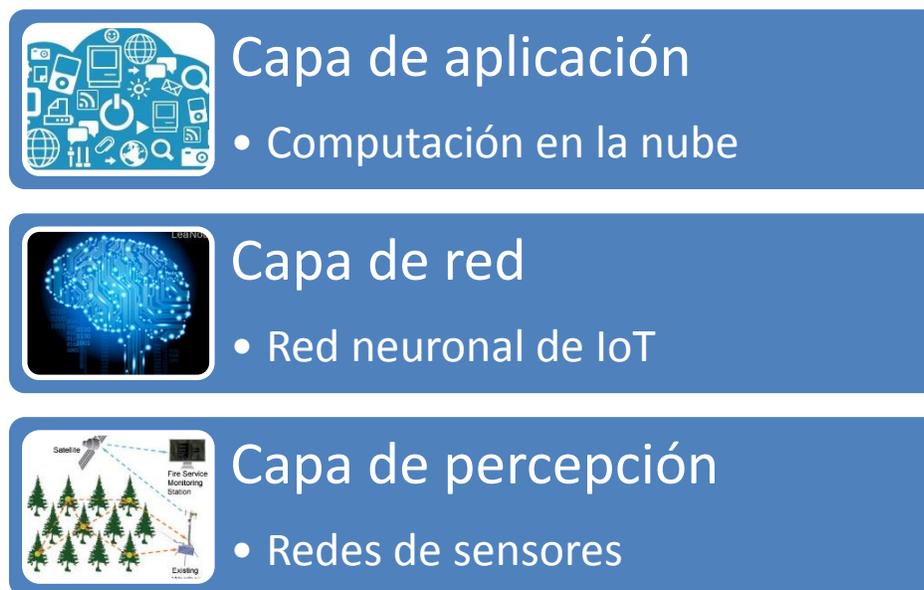
2.2.2 Capa de red

La capa de red es igual que la red neuronal y el cerebro del IoT, su principal función es transmitir y procesar información. La capa de red incluye una red de convergencia de comunicación y la red de Internet, gestión de la red, un centro de información y centro de procesamiento inteligente. La capa de red transmite y procesa la información obtenida de la capa de percepción.

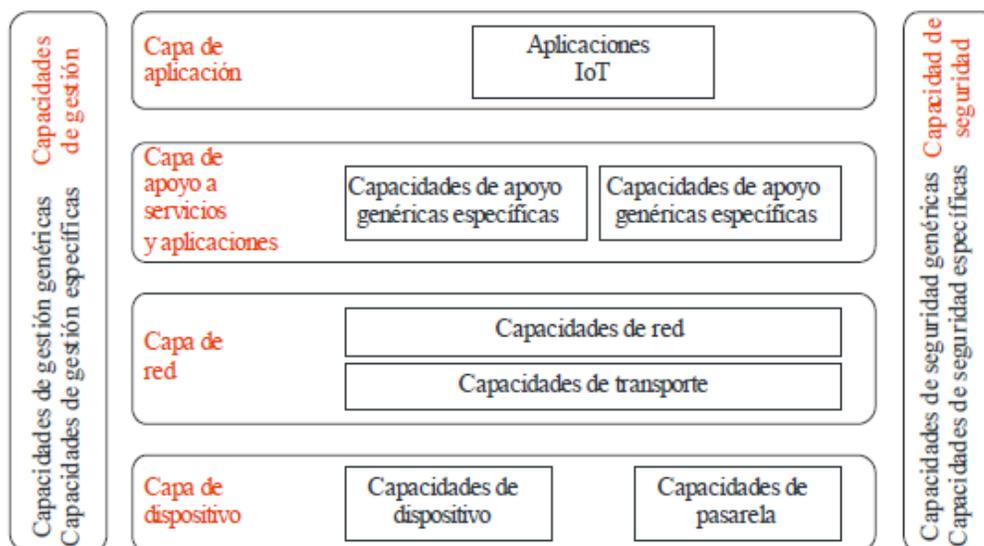
2.2.3 Capa de percepción

La capa de percepción es como los 5 sentidos del IoT, que es principalmente la identificación de objetos y la recopilación de información. La capa de Percepción incluye etiquetas de códigos de barras 2-D y lectores, etiquetas RFID y lectores-escritores, cámaras, GPS, sensores, terminales y redes de sensores. Su tarea principal es identificar el objeto, recopilando su información. [31]

Figura 2-3. Arquitectura de 3 capas de Internet de las cosas



En la actualidad se está discutiendo un modelo del IoT más robusto en el que se le agrega otra capa de apoyo a servicios y aplicaciones, este modelo es el mostrado en la Figura 2-4, en el cual se caracterizan en cada capa las capacidades que debe tener para poder lograr alcanzar los objetivos del IoT.

Figura 2-4. Modelo de referencia IoT. [33]

2.3 Principales tecnologías del Internet de las Cosas

Las principales tecnologías sobre las cuales se quiere impulsar el Internet de las Cosas, son la RFID para la identificación de los objetos, los sensores para la captación de los cambios del medio físico, la nanotecnología para que se genere ubicuidad en los sistemas que es simplemente que sean cada vez menos perceptibles por las personas o usuarios finales y las tecnologías inteligentes para que los objetos puedan generar acciones dependiendo del contexto sin influencia humana, estas 4 tecnologías se explican de manera general a continuación para tener una idea más clara de que tratan y porque son importantes para el desarrollo de Internet de las cosas.

2.3.1 RFID

RFID es una tecnología de identificación automática sin contacto llamada "Radio Frequency Identification" (Identificación por radiofrecuencia).

Con esta tecnología se puede lograr la identificación automática de objetos estáticos o dinámicos y personas, la forma más básica del sistema RFID se compone de etiquetas, lectores y antenas, este tipo de tecnología es útil para el Internet de las Cosas porque con ella se logra la identificación de los diferentes objetos que interactúan en el IoT y se logra mayor facilidad para el manejo de la información. [34]

2.3.2 Sensores

Una pieza clave para lograr llegar al Internet de las Cosas, son los sensores, ya que gracias a estos se logra la recopilación de información sobre el entorno en el que se encuentran las cosas, gracias a los avances en nanotecnología, se ha logrado que el tamaño de los microprocesadores sea cada vez menor sin pérdidas de velocidad de procesamiento.

La idea de la miniaturización es que cada vez elementos más comunes pueden interactuar con la red de Internet sin observar cambios considerables en los equipos, esto significa que gracias a los sensores conectados se obtendrán información en tiempo real y se podrá acceder a ella desde otros lugares y a través de esta información se podrán tomar decisiones remotas sobre las acciones a tomar u observar que acciones se realizaron de manera automática. [29]

2.3.3 Nanotecnología

El estudio de partículas minúsculas se está utilizando para mejorar los productos alrededor de una serie de industrias, incluyendo los sectores de medicina, energía y el transporte. La utilización de nanotecnología hará posible que los objetos que interactúan y se conectan en la red unos con otros, sean lo más pequeños posible con las herramientas tecnológicas actuales e irá disminuyendo su tamaño con los avances en esta tecnología, además de la nanotecnología y la miniaturización de los equipos, en los objetos se pueden crear inteligencia embebida, este tipo de equipos son conocidos como dispositivos inteligentes. [35] [36]

2.3.4 Tecnologías Inteligentes

Las tecnologías inteligentes son los métodos empleados para lograr cierto propósito mediante el uso de un conocimiento a priori. Objetos que obtienen inteligencia después de la implantación de tecnologías inteligentes, se pueden comunicar con los usuarios activa o pasivamente. El contenido y la orientación de la investigación principalmente incluye: teoría de la inteligencia artificial, tecnologías avanzadas y sistemas de interacción entre humanos y máquinas, tecnologías y sistemas de control inteligente, procesamiento inteligente de señales entre otras. [37]

2.4 Infraestructura para el Internet de las Cosas

Según predicciones de Paul Jacobs, para el 2014 el 70% de los dispositivos electrónicos de consumo estarán conectados a Internet. [38]

La capacidad de la infraestructura de los prestadores de telefonía móvil es limitada y la proliferación de los teléfonos inteligentes o smartphones está saturando la capacidad de las redes. Si a esto se suman millones de nuevos dispositivos conectados a Internet, la tecnología 3G o LTE no serán suficientes, y la combinación del uso del móvil, la conexión WiFi y la fibra óptica cobran vital importancia para subsanar la saturación de las infraestructuras móviles. Aunque el negocio 3G está creciendo, la capacidad de las redes móviles actúa como un cuello de botella. Ante esta situación, el IoT se resiente, por lo que se ha pensado una serie de medidas para solventarlo. [39]

Un núcleo de red único para múltiples servicios

Hoy en día hay una tendencia clara de integrar todo tipo de servicios en una única infraestructura de red IP (Internet Protocol), conocida como modelo “Todo IP” (All-IP). Hasta hoy se ha sufrido, con el uso masivo de la red Internet para todo tipo de servicios, las carencias que tienen las soluciones IP clásicas en temas como la capacidad, la calidad de servicio, la seguridad, la fiabilidad y la capilaridad, frente a estos problemas el mercado va reaccionando ofreciendo todo tipo de soluciones, que combinadas de una manera adecuada crearán un modelo de red que permitirá que el cliente corporativo y el cliente doméstico dispongan de todo tipo de servicios imaginables. Este modelo es la Red de Nueva Generación o Next Generation Network (NGN). [17]

El concepto NGN, se plantea como una solución para la convergencia de las redes con interfaces de alta velocidad, con seguridad y calidad garantizadas y que facilita el despliegue de los servicios, tanto actuales como futuros. [17]

2.5 Tendencias

Desde una perspectiva de largo plazo, la tendencia de desarrollo de la Internet de las Cosas incluye tres pasos: inteligencia integrada, conectividad e interacción.

En primer lugar, se han incorporado inteligencia para que se pueden realizar acciones de forma automática en los objetos. Ya han sido muchas aplicaciones, por ejemplo: la etiqueta RFID colocada en los alimentos puede registrar la información acerca de la comida y

podemos obtener la información mediante el uso de un lector RFID, el controlador de la máquina de lavado, se puede hacer que la lavadora complete su trabajo de forma automática, los controladores de motor y los controladores de frenos antibloqueo para automóviles, sistema de guía inercial, control de vuelo, hardware, software, etc. [25]

A pesar que todos esos dispositivos son inteligentes, podemos ver que sólo funcionan de manera local, no hay nada que ver con la “red”. Así que el siguiente paso es hacer que cada dispositivo inteligente se puede conectar.

Desde el punto de vista de dispositivos inteligentes conectados, los dispositivos inteligentes no son inteligentes porque están dotados de capacidades y todas las acciones son prediseñadas por el ser humano, son inteligentes porque están conectados. Las cosas pueden estar conectadas por cable o de manera inalámbrica. En el Internet de las Cosas la conexión inalámbrica va a ser la forma principal de conexión. En base a la infraestructura existente, hay muchas maneras de conectar un objeto: RFID, ZigBee, WSN, DSL, UMTS, GPRS, WiFi, WiMax, LAN, WAN, 3G, etc.

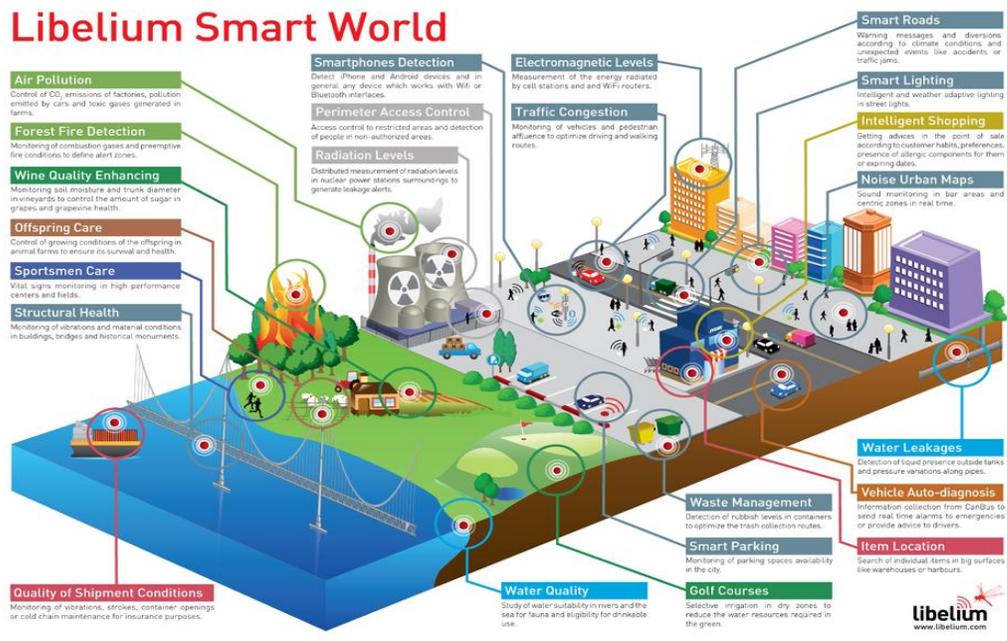
Conectar cosas inteligentes hace posible la interacción. A pesar de que se puede conectar cualquier cosa, esto no quiere decir que las cosas pueden comunicarse por sí mismas. Así que deben crearse nuevos objetos inteligentes que pueden procesar información, auto-configurarse, hacer auto-mantenimiento, auto-reparación, y tomen decisiones independientemente, eventualmente incluso jugar un papel activo en su propia disposición. Las cosas pueden interactuar, intercambiar información por sí mismas (sin intervención humana).

Así que la forma de comunicación va a cambiar de humano-humano, humano-cosa a cosa-cosa (T2T- Thing to thing). A medida que la Internet de los objetos sea una aplicación impulsada por nuevas aplicaciones de negocio se debe mejorar la innovación y el desarrollo de la Internet de los objetos. [37]

2.6 Principales aplicaciones del Internet de las Cosas

El área de aplicación del Internet de las Cosas es bastante amplio, va desde la cadena de suministro en fabricación, en el monitoreo de equipos y gestión en la industria hasta el control inteligente de aparatos electrónicos para el hogar. Una aplicación típica del IoT es en la red eléctrica inteligente; se puede controlar cada usuario y la red en tiempo real. La información sobre el consumo de energía y la producción puede ser transferida y comunicada de forma bidireccional. Por lo tanto, ayuda a que la planta de energía pueda

producir electricidad de la menor orma posible en la premisa de satisfacer todas las demandas de los usuarios. Otro caso típico es aparatos electrónicos inteligentes. Las personas pueden operar sus aparatos electrónicos que se encuentran en su casa cuando no están en ella a través de Internet o equipos móviles. Así que el equipo electrónico inteligente puede preparar muchas cosas para el usuario, como los alimentos y el agua caliente. El Internet de las cosas vuelve a estos elementos mucho más inteligentes. [40] En la actualidad hay una compañía española llamada Libelium reconocida a nivel mundial que le esta apostado al Internet de las Cosas y centra sus desarrollos en focos estratégicos de aplicación del Internet de las Cosas y busca a partir de un modelo de desarrollo *opensource* generar aplicaciones que se centran en los siguientes campos: *Smart Cities, Smart Environment, Smart Water, Smart Metering. Security & Emergencies, retail, logistics, industrial control, Smart agriculture, Smart Animal Farming, Domotic & Home Automation y eHealth*, [41] estos campos de aplicación se muestran en la Figura 2-5 **Figura 2-5. Aplicaciones para un mundo inteligente. [42]**



3. Estudio del impacto Técnico de la transición de Internet al IoT

Para el desarrollo de un estudio técnico de cualquier proyecto el primer paso es plantear los objetivos del estudio, en este caso para satisfacer las necesidades de la investigación los objetivos que se esperan cumplir con este estudio son:

- Evaluar si la infraestructura de telecomunicaciones colombiana tiene las condiciones para acoger el Internet de las Cosas.
- Analizar la viabilidad teórica de la implementación de los protocolos del Internet de las Cosas en el contexto colombiano.
- Inferir si los equipos terminales en el mercado Colombiano son aptos o proyectan tener la tecnología necesaria para el desarrollo de Internet de las Cosas.

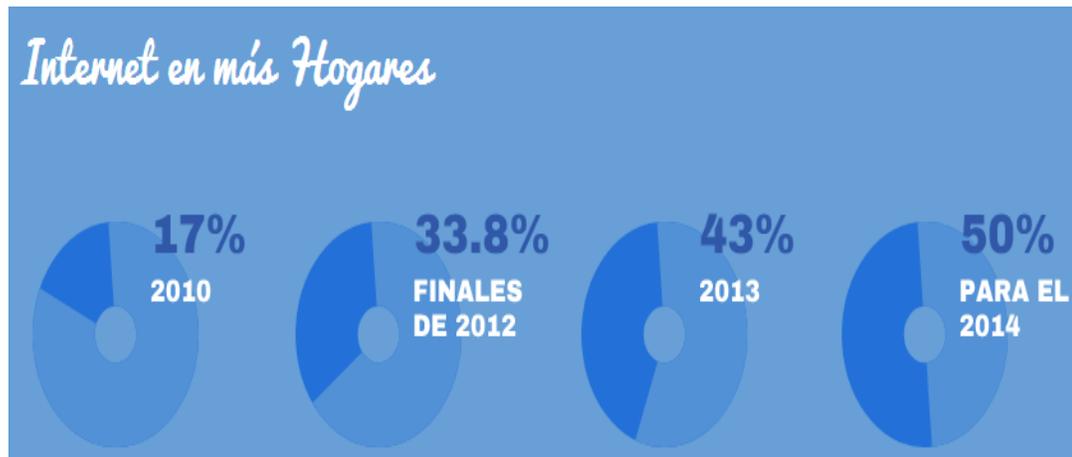
A partir de los 3 objetivos planteados anteriormente el estudio técnico se centra en los 3 aspectos principales que son necesarios para el despliegue de Internet de las Cosas tanto a nivel mundial como el caso específico de Colombia, primero se realiza un análisis de la infraestructura necesaria para este despliegue y el número de usuarios potenciales, luego los protocolos para la transmisión y uso de la información y por último pero no menos importante los equipos terminales (equipos inteligentes) utilizados en el Internet de las Cosas en los cuales se genera la información y la interacción de los objetos con la red, luego de ver todos los elementos necesarios para el despliegue se realiza una comparación con la actualidad tecnológica de Colombia y las proyecciones en este sector.

3.1 Infraestructura

Las proyecciones sobre el Internet del Futuro están dadas para el desarrollo sobre redes basadas en IP este es el caso de las redes de próxima generación que se están desplegando a nivel mundial para la mejor utilización de los recursos físicos de una red realizando la prestación de múltiples servicios a partir de solo un núcleo de red, para esto una exigencia global es trabajar sobre tecnologías de transmisión de datos cada vez más veloces como lo son la fibra óptica en el caso de la comunicación alámbrica y LTE para la comunicación inalámbrica, tecnologías en las que se alcanzan velocidades de Banda Ancha que en el caso de la información que se transmitirá en las redes para Internet de las Cosas es suficiente, por esta razón los diferentes países que están en la puesta en marcha de redes de próxima generación en aspectos de infraestructura tendrán la posibilidad de generar una gran variedad de servicios en temas del IoT.

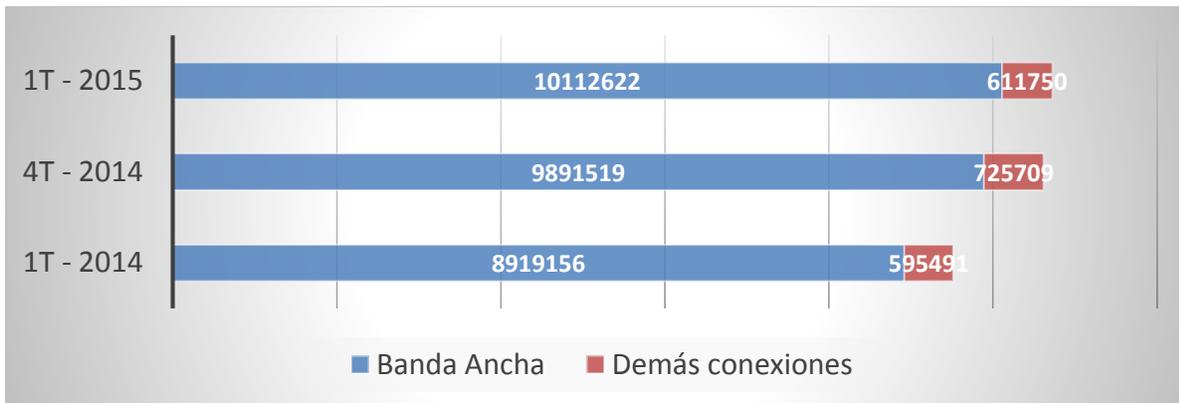
En el caso de Colombia a partir del 2010 se está realizando un ambicioso proyecto por parte del gobierno colombiano, encabezado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), llamado “Proyecto Nacional de Fibra Óptica”, el cual busca la conexión de un alto porcentaje de municipios del país a Internet a través de un cable de fibra óptica que se tiende a través de los diferentes departamentos del país, al 2010 se tenían 200 municipios con conexión a Internet, en el 2013 este número alcanzo los 777 municipios conectados y para el 2014 se esperan alcanzar 1078 municipios dando cobertura al 96% de las poblaciones de Colombia. [43]

Esto es un gran aliciente para incorporar nuevas tecnologías que se basen en el uso del Internet como lo es el Internet de las Cosas, ya que en el país paralelamente a la ampliación de la infraestructura de red se está dando pasos hacia la apropiación tecnológica que es imprescindible para el desarrollo de cualquier país, en la Figura 3-1 se observa el crecimiento de la conexión a Internet en los hogares colombianos que para el 2014 se está alcanzando una penetración del Internet del 50% y esta cifra a través de las iniciativas públicas y privadas podrán continuar aumentando.

Figura 3-1. Conexión a Internet en los hogares colombianos. [43]

La capacidad de las empresas para cursar tráfico de Internet en el país se está fortaleciendo a partir de la incorporación de 3 nuevas conexiones internacionales que generan mayor respaldo a la prestación de este servicio en Colombia, las conexiones son a partir de cables submarinos, estos cables son el GlobeNet operado por UNE EPM Telecomunicaciones, AMX-1 que ha sido desplegado por América Móvil conectando 7 países de América y el Pacific Caribbean Cable System (PCCS) que será operado por Telefónica, en el caso de los dos primeros entraron en operación a finales del 2013 y el tercero se espera que entre en funcionamiento el segundo semestre de 2014, dando respaldo al crecimiento del tráfico de Internet en el país. [44]

Según el último boletín trimestral de las TIC promulgado por el MinTIC en Julio de 2015, los suscriptores a Internet de Banda Ancha en Colombia al término del primer trimestre del 2015 es de 10.112.622 y los accesos a otros tipos de conexión a Internet son de 611.750 suscriptores para un total de suscriptores a Internet de 10.724.372, estas cifras, junto a las del cuarto trimestre del 2014 y al primero del 2014 se muestran en la Figura 3-2.

Figura 3-2. Suscriptores del servicio de Internet en Colombia [45]

En estas cifras se puede ver un crecimiento continuo del acceso a Internet y en especial en servicios de Banda Ancha que para efectos de estas mediciones se considera Banda Ancha las conexiones a Internet fijo con velocidad efectiva de bajada (Downstream) mayores o iguales a 1.024 Kbps + internet Móvil 3G y 4G. [45]

Lo importante de estas estadísticas es que al mismo tiempo que crece el número de suscriptores de Internet en Colombia se están generando campañas de apropiación de tecnología en el país así se logra que además que las personas tienen acceso a Internet aprenden a cómo utilizarlo, conociendo las ventajas y peligros que se encuentran en la red para hacer el mejor uso posible de la misma, la más importante iniciativa en este tema es la “estrategia nacional de apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación”, que está liderada por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).

La infraestructura en Colombia con las diferentes inversiones por parte del estado colombiano y las empresas privadas del sector de telecomunicaciones garantizan un escenario propicio para el despliegue del Internet de las Cosas en el país, en un principio este tipo de tecnología impactara de forma más profunda en las ciudades principales en las que se hacen inversiones más fuertes en temas tecnológicos, pero al igual que todas las tecnologías se irá extendiendo con la reducción del precio de los equipos por su masificación a toda la geografía del país y con la capacidad de la red que se está expandiendo se podrá desplegar a zonas de difícil acceso y el estado podrá brindar servicios de salud, comunicación y emergencias a comunidades a las que anteriormente era muy difícil llegar por su ubicación.

3.2 Protocolos

En la actualidad el Internet de las Cosas está pensado para redes todo IP como lo son las Redes de Próxima Generación es por esto que la planeación sobre protocolos que serán utilizados para este fin va de la mano con el Protocolo de Internet (IP) es importante recordar que en la última década con el gran auge de Internet se superaron las previsiones de direcciones IP del protocolo de internet anterior (IPv4) que en su momento se pensaba inagotable pero por aspectos como mala gestión en la asignación y el crecimiento desmedido de los usuarios de Internet se volvió un protocolo con insuficientes direcciones de Internet para satisfacer la demanda mundial, por esta razón se hizo una necesidad global el despliegue del nuevo protocolo de Internet (IPv6) el cual genera un número de direcciones mucho mayor a la población actual del mundo, esto no quiere decir que sea inagotable porque hay que tener en cuenta que en la actualidad y en el futuro no solo se conectaran las personas a la red sino cualquier elemento que tenga la capacidad de medir alguna variable de interés de su entorno o que tenga inteligencia para interactuar con la red.

Actualmente la IANA es responsable de la coordinación global de los sistemas de direccionamiento del Protocolo de Internet, así como los Números de Sistemas Autónomos utilizados para enrutar el tráfico de Internet, hoy en día existen dos tipos de direcciones del Protocolo de Internet (IP) en uso activo: IP versión 4 (IPv4) e IP versión 6 (IPv6). IPv4 se desplegó inicialmente el 1 de enero de 1983 y sigue siendo la versión más utilizada. Las direcciones IPv4 son números de 32 bits, la implementación del protocolo IPv6 comenzó en 1999, las direcciones IPv6 son números de 128 bits lo que aumenta varias veces su capacidad de la red, las direcciones IPv4 e IPv6 se asignan generalmente de una manera jerárquica, a los usuarios se les asignan las direcciones IP de los proveedores de servicios de Internet (ISP). Los ISPs obtienen la asignación de direcciones IP a partir de un registro local de Internet (LIR) o Registro Nacional de Internet (RNI), o de su adecuado Registro Regional de Internet (RIR), en la Figura 3-3 se observa el tipo de RIR según la zona de cobertura. [46]

Figura 3-3. Registro Regional de Internet (RIR) [46]

Como se ha venido mencionando el próximo paso en términos de protocolos de Internet es el IPv6 por esta razón se realizará una comparación entre los protocolos IPv4 e IPv6 para tener una visión más clara de la actualidad en términos de protocolos, cabe resaltar que en la actualidad el protocolo más usado sigue siendo IPv4 por su amplia trayectoria pero que en una visión a futuro el protocolo IPv6 será por amplio número el más utilizado en el mundo.

Los principales cambios entre las versiones 4 y 6 del Protocolo de Internet son: la ampliación del tamaño de la dirección IP de 32 a 128bits lo que permite tener más niveles jerárquicos para el direccionamiento, la cabecera IPv6 se ha vuelto más simple reduciendo campos o haciendo algunos de estos opcionales lo que ahorra en procesamiento y ancho de banda utilizado por el protocolo, se agrega un nuevo campo o etiqueta (flow label) que permite enviar información sobre la calidad del servicio necesario y si se requiere la información en tiempo real, lo que genera un progreso hacia el futuro donde los usuarios buscaran no solo la prestación de un servicio sino una calidad de servicio según sus necesidades, otro aspecto importante que agrega IPv6 es la capacidad de generar privacidad y autenticación para generar integridad de los datos y si es necesario la confidencialidad de los mismos. [47]

En la actualidad debido a que se tienen en uso los dos protocolos de Internet se debe realizar una integración entre los dos para poder ofrecer cualquier tipo de servicio a los hosts que se tienen en la actualidad para esto se usan dos técnicas la primera es la Dual Stack que simplemente es tener doble pila con las que los hosts y routes podrán aplicar los dos protocolos IP, permitiendo la prestación de cualquier tipo de servicio o aplicación

de los dos protocolos ya que están disponibles, otra técnica es el DTTS (Dynamic Tunneling Technique) con esta técnica la capa del protocolo IPv6 es considerada una capa de enlace de la capa del protocolo IPv4. La encapsulación de los paquetes IPv4 en paquetes IPv6 junto con la Dual Stack ayuda a la hora de desplegar aplicaciones de IPv4 en un nodo de red IPv6, así como para eliminar el enrutamiento de IPv4 en la red IPv6. [3]

Como actualmente se tienen diferentes técnicas para tener la interacción ya sea con IPv4 o con IPv6 y los futuros desarrollos de aplicaciones y servicios está enfocada en el protocolo IPv6 gracias a las iniciativas mundiales y locales del despliegue de este protocolo el desarrollo en adelante de esta investigación se centrará en IPv6 y otros protocolos que ayuden a la interacción entre nodos de una red.

Un aspecto importante del Internet de las Cosas es la seguridad de la información ya que la mayoría de debates en la actualidad se centran en el manejo de la información y en la IoT se manejarán grandes volúmenes de información es un elemento a tener en cuenta, en este aspecto el protocolo IPv6 incorpora algo muy importante en relación a sus versiones pasadas que es el IPSec este proporciona seguridad en la capa de red. Al utilizar la función IPv6 de extensión de la cabecera, el grupo de trabajo de IPsec es capaz de definir dos nuevos servicios: el Protocolo de seguridad de encapsulado (ESP por sus siglas en inglés) y la cabecera de autenticación (AH por sus siglas en inglés). ESP proporciona confidencialidad y protección de la integridad, la autenticación de los datos de origen, control de acceso, protección contra la reproducción y protección de tráfico restringido, mientras que AH proporciona autenticación de origen de datos y protección de reproducción. [48]

Otro aspecto a tener en cuenta son las redes celulares 3G y 4G porque a partir de este tipo de redes se logrará uno de los principales objetivos del Internet de las Cosas que es lograr un grado de conectividad muy alto que en el caso ideal sería en todo momento y lugar, en este aspecto es donde las redes actuales de comunicaciones en Colombia tienen una falencia debido a que el servicio de las redes celulares ha venido siendo criticado fuertemente debido a su bajo nivel de calidad en el servicio, por esta razón en agosto del 2013 el MinTIC lanzó una aplicación llamada Calidad Celular, el ministerio define la aplicación de la siguiente manera: “Calidad celular es un servicio que permite a los usuarios de telefonía celular e internet móvil comparar en términos objetivos la calidad los servicios que los operadores ofrecen a sus respectivos usuarios.” [49]

La aplicación calidad celular esta soportada para las plataformas de celulares inteligentes como lo son Apple, Android y Blackberry, además cuenta con una aplicación web para el PC en la que se compara el servicio prestado por los tres operadores principales de la actualidad Claro, Movistar y Tigo en los aspectos de llamadas y de velocidad de los servicios de datos, cabe resaltar que la aplicación en la plataforma iOS (Apple) no es la misma que en las demás plataformas en este caso se llama My Mobile Coverage la cual tiene la misma funcionalidad de la aplicación colombiana solo que es en inglés, en la Figura 3-4 se muestra la aplicación web eligiendo como zona geográfica la ciudad de Bogotá y centrando el mapa sobre la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá que por experiencia personal se sabe que la señal celular es más crítica que en varias zonas de la ciudad, la aplicación muestra los mapas de cobertura de los tres operadores que prestan servicios de telefonía celular en Colombia. Cada uno identificado por su nombre y logo corporativo, el mapa muestra las vías, edificios basado en OpenStreetMap y sobre ella traza la cobertura de los operadores donde el color verde indica donde la señal tiene buena cobertura y las partes de color rojo donde se han presentado fallas con el servicio, que en el caso del campus universitario es en gran parte de él como ya ha sido evidenciando por los estudiantes de la universidad durante años.

Figura 3-4. Aplicativo Web Calidad Celular. [49]



En la aplicación además de mostrar la cobertura de la señal en zonas específicas también proporciona otra información como la velocidad promedio de bajada y de subida en una zona específica, la relación de llamadas completadas, fallidas y caídas como se muestra en la Figura 3-5, estas características las muestra para cada operador en la imagen se muestra la de solo un operador con el objetivo de ver la representación.

Figura 3-5. Medidor de velocidad aplicación Calidad Celular [49]



A partir de los datos entregados por esta aplicación se realizó la Tabla 3-1 donde se muestra la velocidad de subida y de bajada de la red de datos de los principales operadores de este servicio en Colombia, en las ciudades con población superior a 200.000 habitantes según las proyecciones del DANE 2005-2020 ya que en la actualidad el último censo realizado fue el del 2005 razón por la cual no se tienen datos exactos de población.

Tabla 3-1. Velocidad de red de datos en las ciudades principales de 3 operadores.

CIUDAD	CLARO		MOVISTAR		TIGO	
	VEL. B.	VEL. S.	VEL. B.	VEL. S.	VEL. B.	VEL. S.
Bogotá	2669	457	1694	805	2089	904
Medellín	3229	518	1521	819	3013	745
Cali	2612	479	2147	418	2647	883
Barranquilla	1815	2232	2082	698	2486	1455
Cartagena	2203	563	1844	454	2337	714
Cúcuta	2417	530	1841	628	3554	535
Soledad	4079	640	4521	781	2097	575
Ibagué	2392	478	1183	496	2560	743
Bucaramanga	Sin Datos					
Santa Marta	4995	615	Sin Datos	Sin Datos	3321	1034

Villavicencio	2963	525	1764	657	3693	984
Soacha	5186	540	1499	472	1283	990
Pereira	2499	615	1350	905	2203	729
Bello	2375	392	1632	330	3125	757
Valledupar	3328	584	1437	355	2095	591
Montería	5032	542	Sin Datos	Sin Datos	2160	570
Pasto	3947	Sin Datos	1827	170	1937	690
Manizales	1994	442	1284	1045	2494	740
Buenaventura	4116	631	1181	204	6712	633
Neiva	2813	527	1199	405	2789	745
Palmira	4755	592	2063	347	2559	482
Armenia	1974	527	1239	642	1083	152
Popayán	2554	500	1458	2613	2333	811
Sincelejo	3065	567	Sin Datos	Sin Datos	4259	988
Itagüí	3229	518	1521	819	2986	750
Floridablanca	3080	513	2014	592	2508	810
Riohacha	2639	628	1296	298	3881	855
Envigado	3229	518	1521	819	2907	739
PROMEDIO	3155,1	602,8	1713,3	657,2	2781,9	763,1

Para la Tabla 3-1 la VEL. B. es la velocidad de bajada en Kbps y la VEL. S. es la velocidad de subida en Kbps.

Además con los datos obtenidos en la Tabla 3-1 se generaron gráficas de velocidad de subida y de bajada por red de cada operador para los municipios con población superior a 200.000 habitantes, en la Figura 3-6 se encuentran los datos de la red de datos de Claro, en la Figura 3-7 se muestran los datos de la red de datos de Movistar y por último en la Figura 3-8 se muestran los datos obtenidos de la red de datos de Tigo.

En las gráficas en el Eje Y se muestra la velocidad en Mbit/s y en el eje X se encuentra la ciudad en la que se tiene la velocidad del eje Y, en cada gráfica se generaron dos series por ciudad la serie de color azul representa la velocidad de bajada de la red del operador para cada ciudad y la serie de color rojo la velocidad de subida obtenida por cada operador, como se puede evidenciar en las gráficas la velocidad de bajada es superior a la velocidad de subida lo que es congruente con los servicios que prestan los operadores que indican que la velocidad de descarga o bajada es superior a la de subida de archivos.

Un aspecto a tener en cuenta en el Internet de las Cosas es que a pesar que él envió de información va a ser continuo, el tamaño de los paquetes de datos que se enviarán en un principio por las cosas no será demasiado grande teniendo en cuenta que la información enviada será sobre el estado actual o sucesos que le pasen a los objetos, un pequeño

ejemplo de estos sucesos es cuando dejamos la plancha prendida en la casa, después de un tiempo de que no se utilice, ella por si misma se apagara de forma automática, se enviara un mensaje de este suceso y la hora en la que se realizó la acción, a medida que las aplicaciones se van volviendo más complejas estos paquetes de información podrán ir aumentando su tamaño por la necesidad de envío de mayor información de control y esto genera la necesidad de la ampliación de la capacidad de las redes, en la actualidad la cobertura de 4G que genera mayores velocidades es un poco limitada por los operadores y se tiene en general cobertura 3G con las proyecciones mostradas sobre capacidad de las redes y la propia dinámica dada por el mercado.

Figura 3-6. Velocidad red de datos de Claro. Municipios con más de 200.000 Habitantes

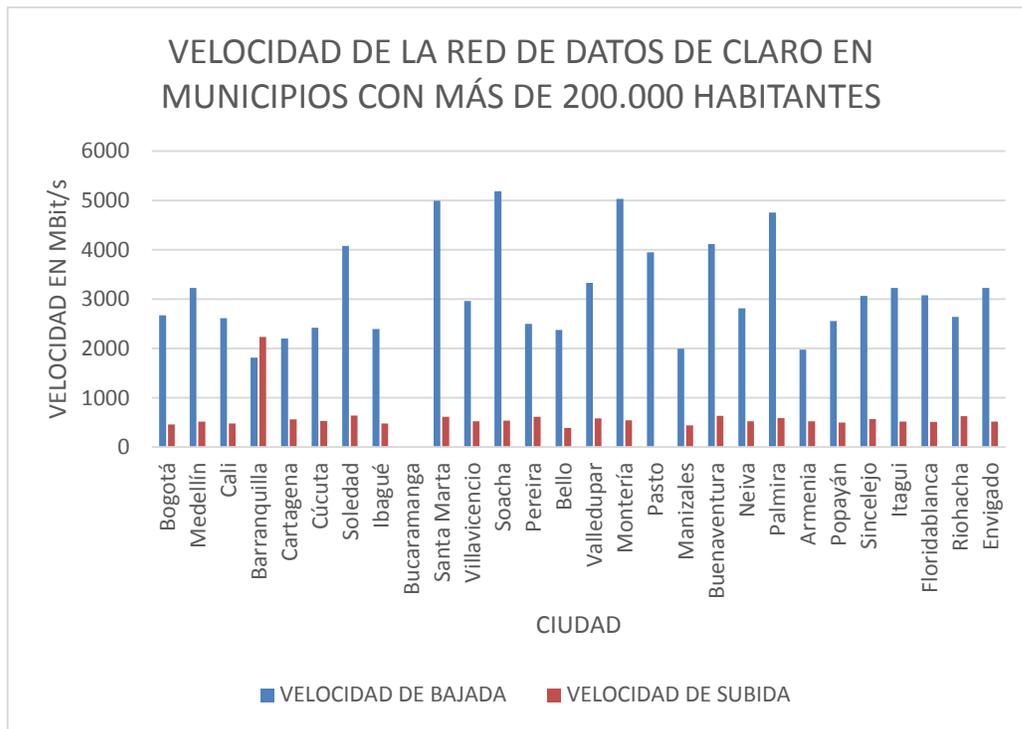


Figura 3-7. Velocidad red de datos de Movistar. Municipios con más de 200.000 Habitantes

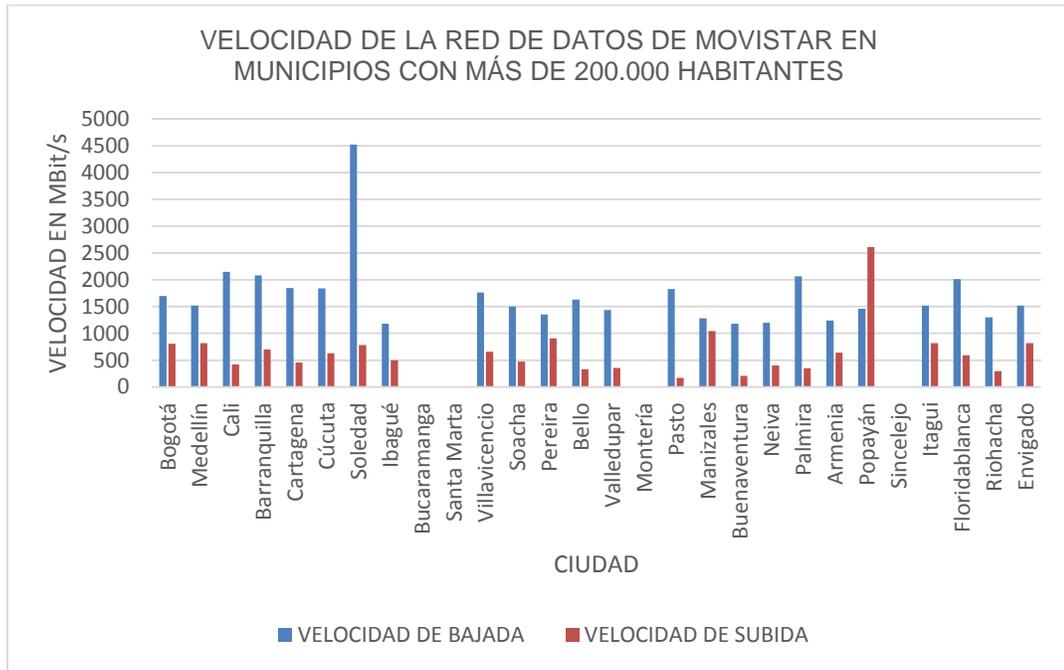
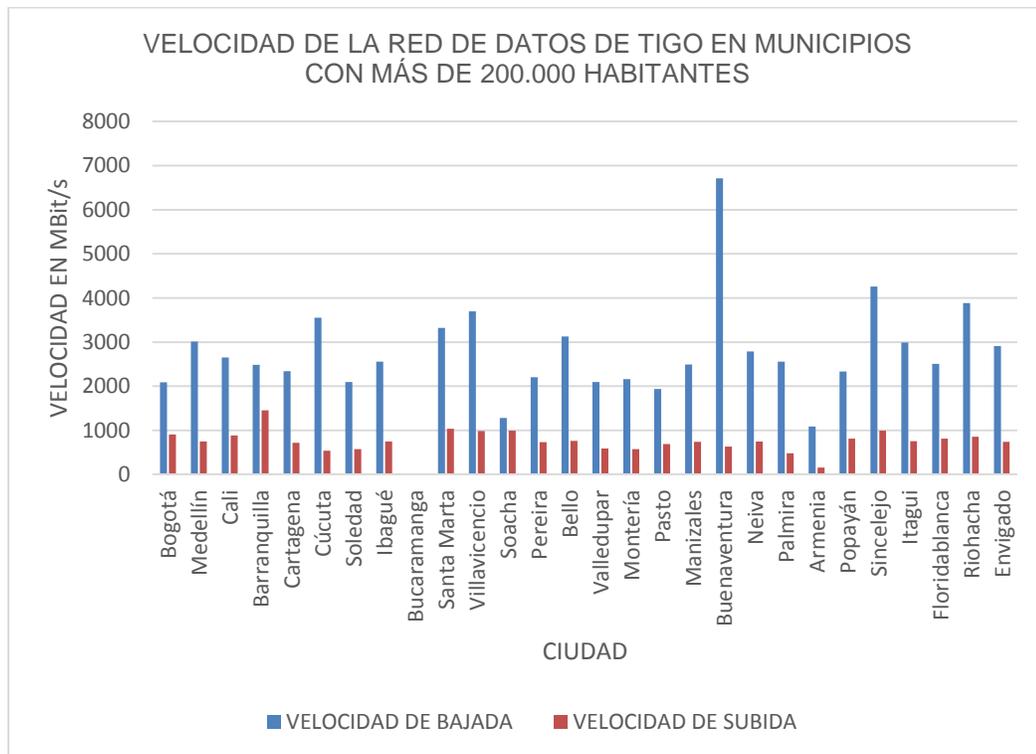


Figura 3-8. Velocidad red de datos de Tigo. Municipios con más de 200.000 Habitantes



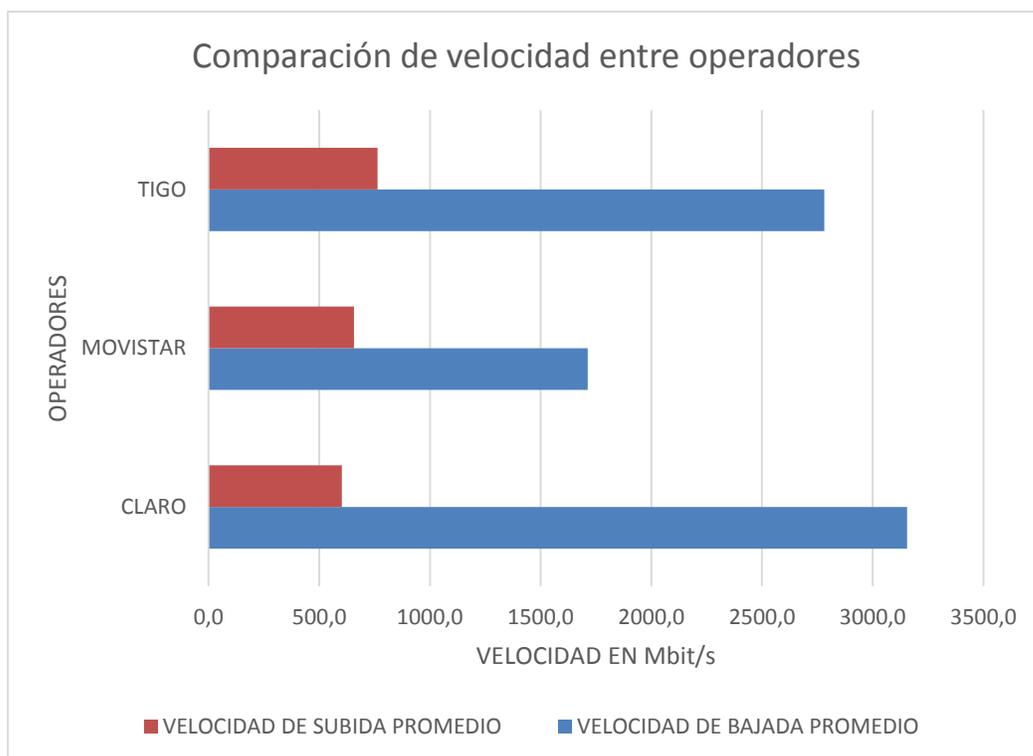
En la Tabla 3-2 se muestran los datos de velocidad promedio de subida y bajada de los tres operadores para los municipios antes mencionados.

Tabla 3-2. Velocidad promedio operadores ciudades con más de 200.000 Habitantes

OPERADOR	VELOCIDAD DE BAJADA PROMEDIO	VELOCIDAD DE SUBIDA PROMEDIO
CLARO	3155,1	602,8
MOVISTAR	1713,3	657,2
TIGO	2781,9	763,1

En la Figura 3-9 se muestra la comparación de las velocidades de subida y de bajada de los operadores líderes en la prestación del servicio de Internet móvil en Colombia.

Figura 3-9. Comparación de velocidad entre operadores



A partir de estas velocidades se puede concluir que para las primeras fases del Internet de las Cosas donde las aplicaciones no tendrán un grado alto de complejidad la red móvil de Colombia podrá soportar el IoT pero que como todo sistema este deberá ir mejorando para

prestar mayores facilidades y aplicaciones cada vez más robustas, también es importante mencionar que a pesar que son conexiones móviles se están obteniendo velocidades superior a 1.024kbps valores comprendidos para Banda Ancha en el país.

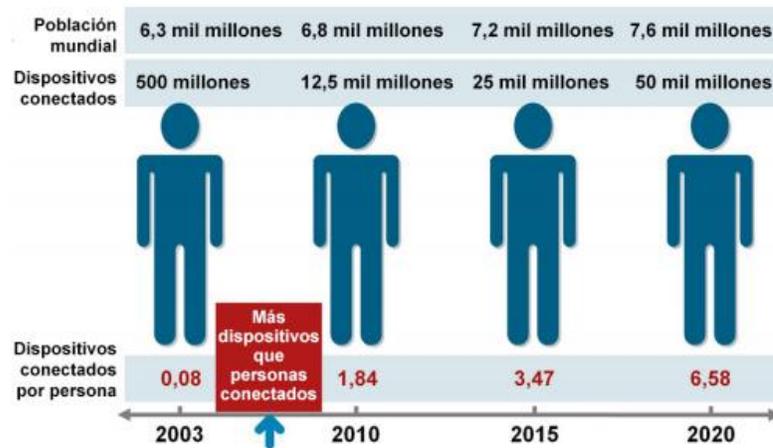
Si se observa el caso de un sistema domótico que son las primeras fases del Internet de las Cosas la información que mide el sensor en la mayoría de aplicaciones no se utiliza cada segundo por lo que con tiempos de muestreo de 10 segundos se satisfacen las necesidades de conocer el ambiente es decir 6 muestras por minuto y los paquetes con esta información tienen menor tamaño que un correo electrónico por lo que esta etapa inicial se puede decir que se suple de buena manera con la infraestructura actual.

3.3 Dispositivos Terminales

Un aspecto importante en la adopción de cualquier tecnología son los equipos terminales que van a ser utilizados por los usuarios, las características de los mismos vienen dadas por las necesidades del mercado y su aplicación como tal, un primer acercamiento a lo que se conoce como Internet de las Cosas son los celulares inteligentes conocidos como Smartphone popularmente en este tipo de dispositivos ya se encuentran aplicaciones en las que sin necesidad de interacción directa con el usuario se registra una serie de información que puede ser de utilidad, un ejemplo de esto es la aplicación mostrada en la sección anterior “Calidad Celular” la cual sin necesidad de que el usuario introdujera información almacenaba información de velocidad de navegación de la red de datos y hacia una relación de las llamadas realizadas y el estado de las mismas, de este tipo de aplicaciones se encuentran una gran variedad para su descarga tanto de forma gratuita o con algún cargo para el usuario.

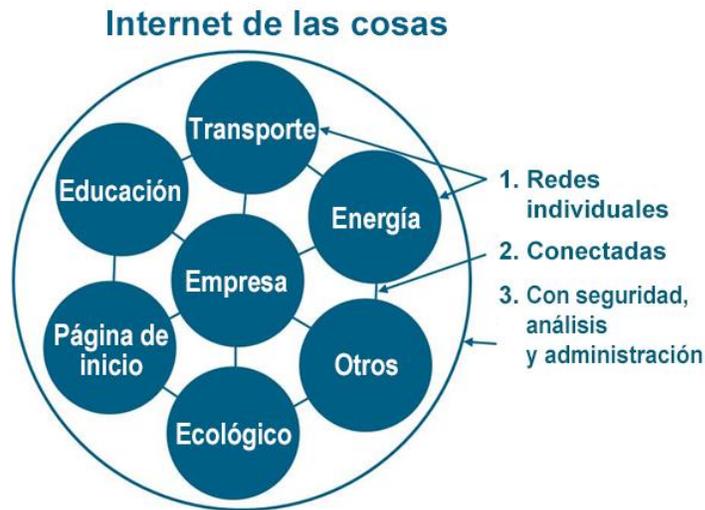
En 2008 los científicos chinos Guo-Qing Zhang, Guo-Qiang Zhang, Qing-Feng Yang, Su-Qi Cheng y Tao Zhou realizaron un estudio sobre el crecimiento de la red de Internet donde encontraron que el tamaño de Internet se duplicara cada 5,32 años obedeciendo La Ley de Moore que en un principio era aplicada al crecimiento de los transistores en un circuito integrado [50], estas proyecciones muestran que a pesar que el Internet de las Cosas se observa como un aspecto del futuro ya en la actualidad somos parte del Internet de las Cosas, una de las empresas líderes en tecnología como lo es CISCO en su grupo CISCO IBSG (Internet Business Solutions Group) estima que la Internet de las Cosas “nació” entre los años 2008 y 2009 y prevé que en el 2015 abran más de 25mil millones de dispositivos conectados a Internet y su crecimiento para el 2020 alcanzará más de 50mil millones de equipos en la red. [51]

En la Figura 3-10 se muestra la proyección de crecimiento de los dispositivos conectados a Internet en relación al crecimiento de la población mundial.

Figura 3-10. Nacimiento del IoT y Crecimiento de Internet. [51]

Proyectos como CeNSE (Central Nervous System for the Earth) de los laboratorios de HP, están revolucionando la forma como se reúne la información, se comunica, y es analizada. CeNSE consiste en una red altamente inteligente de miles de millones de sensores a nanoescala diseñados para sentir, saborear, oler, ver y oír lo que está pasando en el mundo [52], este no es más que el objetivo del Internet de las Cosas lograr niveles de conectividad muy altos y billones de dispositivos transmitiendo información sobre su contexto para una interpretación del mundo real, esto logrará alcanzar mayor eficiencia en procesos de la vida cotidiana y procesos industriales más complejos.

En esencia el aspecto más importante del Internet de las Cosas son los sensores y las diferentes formas de medir variables de interés es por esto que los dispositivos que integren el IoT deben lograr medir las variables que se quieren sensar de la mejor manera, teniendo en cuenta aspectos del contexto en el que se encuentran para lograr los objetivos del IoT, en la actualidad tenemos pequeños ejemplos de redes que hacen lo que busca el Internet de las Cosas solo que de manera independiente es decir que no se conectan en una gran red como Internet, un ejemplo de esto en el caso domestico es lo que se conoce como domótica, en este caso se tiene una red de sensores con un sistema central que organiza las tareas según las variables que son medidas, en este caso la Internet de las Cosas se podría ver como una red de redes, en la que internamente se tienen infinidad de redes a nivel mundial y la Internet de las Cosas sería una gran red donde se encuentran todas estas redes, en la Figura 3-11 se muestra la representación de este modelo. [51]

Figura 3-11. Representación Internet de las Cosas [51]

Con respecto a los elementos que se conectan a este tipo de redes se encuentran diferentes dispositivos con diversos grados de complejidad se puede conectar desde un sensor con un microcontrolador para medir la temperatura hasta un sistema de computación que tiene identificación biométrica y alta seguridad, según el nivel de complejidad y el nivel de seguridad que se requiera afectará el costo de implementación de la red, pero como Internet busca su masificación por demanda del mercado los precios con el tiempo irán siendo más asequibles y el IoT se volverá parte del diario vivir como todas las tecnologías que se van volviendo ubicuas, entre las redes que se observan en la Figura 3-11 se encuentra la red eléctrica sobre la cual en la actualidad se trabaja de gran manera en redes conocidas como Smart Grid para el uso y producción inteligente de energía eléctrica.

3.4 Simulaciones

A pesar que en los objetivos no se tiene planteada una simulación como tal, durante el desarrollo de la tesis se hizo evidente que la mejor forma de demostrar lo planteado de manera teórica era realizar simulaciones sobre los posible entornos de red que se van a dar en el caso de Colombia cuando se tenga el despliegue del Internet de las Cosas para esto el primer paso fue elegir el simulador que por elementos técnicos y económicos se adecuara de mejor manera al sistema que vamos a simular.

El primer paso para realizar la simulación fue decidir lo que se quiere obtener con la simulación y seleccionar el simulador sobre el cual se van a realizar las simulaciones, para

esto se tomaron 3 de los principales simuladores utilizados a nivel académico en el mundo como lo son OMNET++, NS-2 y NS-3, estos tres porque tienen el plus de ser herramientas de acceso libre y útiles para simular el tipo de redes requerido, a continuación se realiza una breve descripción de cada simulador y una pequeña matriz de decisión para mostrar cuál fue el simulador elegido.

- **OMNET++**

Es una herramienta extensible y modular, basada en C++ y dedicada principalmente a la creación de simulaciones de red. La palabra red se entiende en un sentido más amplio, ya que incluye no sólo redes cableadas e inalámbricas, sino redes dentro del chip, redes de colas, redes de sensores, redes inalámbricas ad-hoc, redes fotónicas, etc. OMNeT++ es libre para uso académico y es ya una plataforma ampliamente utilizada por la comunidad científica mundial.

Un modelo OMNeT++ es básicamente una descripción de la topología que se desea simular, en el denominado lenguaje NED. Se trata de un lenguaje propio de OMNeT++ que permite definir los módulos, puertas y conexiones presentes en nuestra topología. Por ende para generar el modelo es necesario del manejo de NED y C++ ya que en el caso de una simulación en OMNeT++ para poder crear los modelos y hacer modificaciones sobre los sistemas son necesarios. [53]

- **Network Simulator 2 (NS-2)**

NS-2 es un simulador de eventos discretos dirigidos a la creación de redes de investigación. NS-2 presta un apoyo sustancial para la simulación de TCP, enrutamiento y protocolos de multidifusión a través de redes cableadas e inalámbricas (locales y por satélite), por esta razón es una herramienta útil para la simulación de redes ad-hoc o más específicamente el caso de estudio que son las redes de sensores inalámbricas en las que los nodos son dinámicos por lo que pueden cambiar su posición continuamente.

Es un simulador orientado a objetos, escrito en C++, con un intérprete OTcl como interfaz. El simulador soporta una jerarquía de clases en C++ (Jerarquía de compilación) y una jerarquía de clases similar dentro del intérprete OTcl (Jerarquía del intérprete). Las dos jerarquías están estrechamente relacionados entre sí; desde la perspectiva del usuario, hay una correspondencia uno-a-uno entre una clase en la jerarquía del intérprete y uno en la jerarquía de compilación. La raíz de esta jerarquía es la clase TclObject. Los usuarios

crean nuevos objetos de simulador a través del intérprete; estos objetos se instancian en el intérprete, y están estrechamente reflejadas por un objeto que corresponde en la jerarquía de compilación.

▪ **Network Simulator 3 (NS-3)**

NS-3 es un simulador de redes de eventos discretos en la que el núcleo de simulación y modelos se implementan en C + +. NS-3 está construido como una biblioteca que puede ser estática o dinámicamente vinculado a un programa principal de C + + que define la topología de simulación y comienza el simulador. NS-3 también exporta casi la totalidad de sus APIs para Python, permitiendo que los programas de Python puedan importar un módulo de “ns3” casi de la misma manera que la biblioteca ns-3 está vinculado con los ejecutables en C++. [54]

3.4.1 Matriz de decisión

Para desarrollar la matriz de decisión primero se realizó un análisis sobre las características más importantes que debía tener un simulador para cumplir con los objetivos propuestos, uno de los primeros aspectos a tener en cuenta es el tipo de licencia, el sistema operativo sobre el cual está desarrollado o puede correr de mejor manera, el lenguaje de programación utilizado, los protocolos que soporta en especial los inalámbricos en los que se centra la simulación, documentación y respaldo académico.

En la Tabla 3-3 se muestra la matriz de decisión utilizada con los aspectos mencionados anteriormente y la calificación obtenida por cada simulador en los diferentes aspectos y su total, por medio del cual se logró tomar la decisión de realizar la simulación en NS-2 por su extensa documentación y uso a nivel académico.

Tabla 3-3. Matriz de decisión: Simulador

SIMULADOR /ASPECTO	NS-2	NS-3	OMNET++
LICENCIA	5	5	5
SISTEMA OPERATIVO	5	5	5
LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN	5	5	5
PROTOCOLOS SOPORTADOS	5	5	5
DOCUMENTACIÓN	5	4	4
TOTAL	25	24	24

Después de realizar la selección del simulador fueron necesarios varios pasos y lograr un conocimiento más amplio sobre el software para lograr obtener la simulación adecuada para el sistema, a continuación se realiza una descripción más a fondo de NS-2.

3.4.2 Escenarios de simulación

Para la simulación se plantean 3 escenarios para desarrollar que son algunas de las posibilidades que se pueden presentar en el Internet de las Cosas, el escenario 1 en el cual se tienen 5 nodos son estáticos con conexión inalámbrica, el escenario 2 es similar al escenario 1 pero en este caso la conexión es de 18 nodos con un nodo central, sobre el escenario 3 fue el que se realizan mayor número de modificaciones lo primero es que los nodos son móviles y se tiene un nodo estático al que se envía la información para este se hacen pruebas aumentando el número de nodos, la ubicación del nodo que recolecta la información, el tamaño del mapa entre otras características que se describirán más adelante, el modelo de movilidad de los nodos es implementado a partir de la función *setdest* de ns-2 donde se le entregan al simulador las características de velocidad, tamaño del mapa, el número de nodos y el genera el movimiento de manera autónoma, otra manera de generar el modelo de movilidad es indicándole un punto de inicio, puntos intermedios y las coordenadas a las que se quieren llegar pero en este caso no se requiere darle una ruta predefinida a los nodos ya que el comportamiento de cada nodo es independiente.

Los escenarios 1 y 2 se plantean para un modelo de hogar o de un conjunto donde se automatizan las tareas de la casa y están conectados electrodomésticos, puertas e iluminación y demás elementos que puedan ser medidos y controlados, en el escenario 3 se quiere mostrar un escenario *outdoor* es decir fuera de casa en el que los nodos tienen movilidad y se desplazan por un área más grande que según dimensiones puede ser una manzana, un barrio o hasta una ciudad,

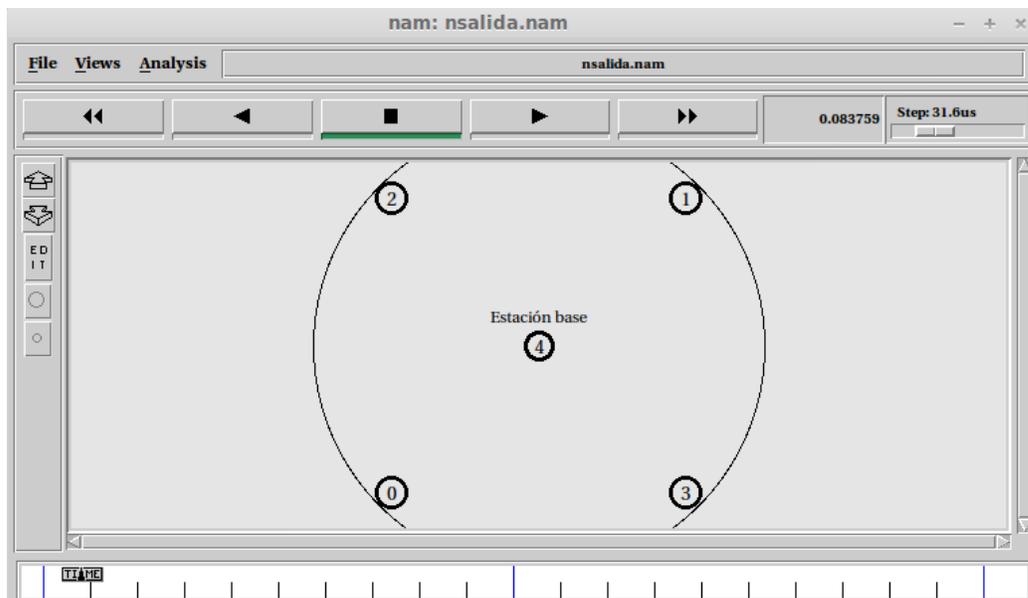
Para el análisis de los resultados el primer inconveniente fue que ns-2 entrega un archivo en formato tr como se mencionó anteriormente, el cual contiene la información de todos los sucesos de la simulación, para el procesamiento y mayor utilidad de esta información se realizó un filtro utilizando la herramienta AWK con la que se redujo la información utilizando tan solo la de utilidad, a continuación se muestran los resultados de los diferentes escenarios planteados para su desarrollo un aspecto importante es que se planteó el

tamaño de los paquetes teniendo en cuenta la velocidad de subida de los operadores prestadores del servicio de Internet Móvil cabe resaltar que en los escenarios a nivel hogar las velocidades alcanzadas por fibra óptica en el hogar en la actualidad son mayores a las alcanzadas en Internet móvil por lo que la transmisión y recepción de la información en el hogar se debería realizar sin inconvenientes.

▪ RESULTADOS ESCENARIO 1

En este escenario se plantea el modelo inicial del Internet de las Cosas en la perspectiva del hogar donde se tendrá un nodo central en general que será el modem de Internet de la casa que le da cobertura a dispositivos electrónico que en general estarán en una posición física o sus cambios no serán muy violentos y la capacidad de red en promedio en Colombia es de 5Mbps, que es lo ofrecido por los operadores de este servicio en la actualidad en el país, en la Figura 3-12 se observa el primer escenario en un entorno gráfico a partir de la aplicación nam.

Figura 3-12. Escenario 1 de Simulación nam.



La simulación se realiza para un tiempo de una hora y el intervalo del envío de los paquetes es de 100ms lo que quiere decir que en promedio se enviarán 10 paquetes por segundo con información de los electrodomésticos en el hogar en lo que se está sobredimensionado

este envió ya que no es necesaria tener tanta información sobre su comportamiento pero permite comprobar que a nivel hogar no se tendrán problemas con el manejo de la información.

En la Figura 3-13 se muestra como fue la relación entre los paquetes enviados hacia el nodo central y los paquetes que este recibió en el tiempo de simulación, estos datos fueron los obtenidos a partir del filtro realizado con AWK y se seleccionó tomar los datos cada 100 paquetes recibidos para que el manejo de la información fuera más fácil en este caso, en la Figura 3-14 se muestra el porcentaje de paquetes recibidos con relación al tiempo.

Como se observa en la Figura 3-13 la gráfica de paquetes recibidos esta sobrepuesta a la de paquetes enviados lo que indica que los paquetes que se iban enviando hacia el nodo central se iban recibiendo de buena manera, por lo que el primer escenario muestra que esa conectividad a nivel de hogar no presentara mayores inconvenientes en el despliegue del Internet de las Cosas.

Figura 3-13. Paquetes entregados y recibidos escenario 1.

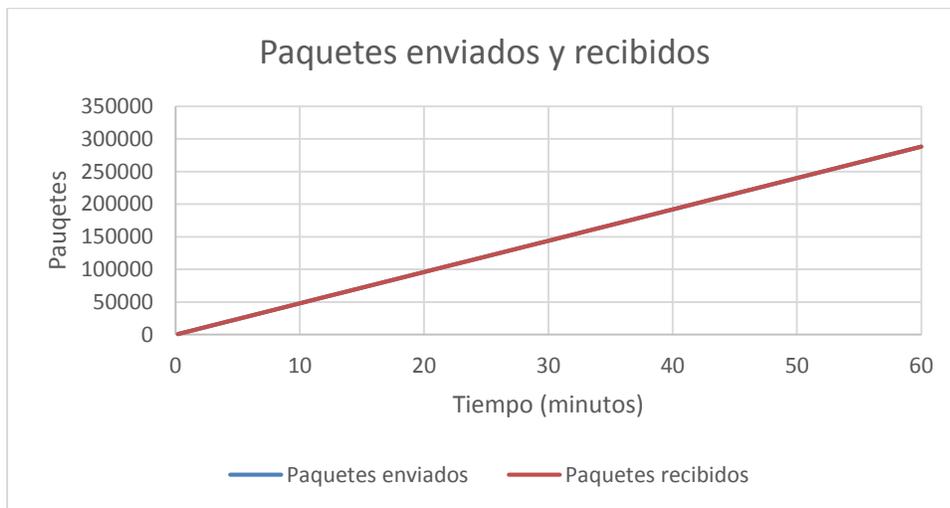
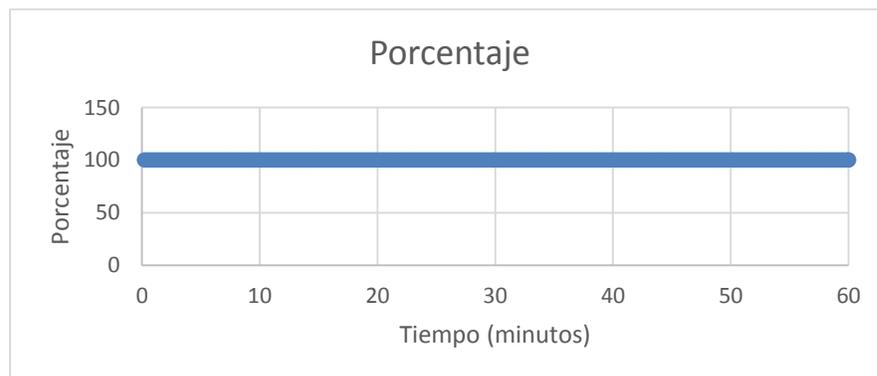


Figura 3-14. Porcentaje de paquetes recibidos por el nodo central Escenario 1.



Los datos finales arrojados de la simulación se muestran en la Figura 3-15 en la consola de comandos de una de las distribuciones de Linux.

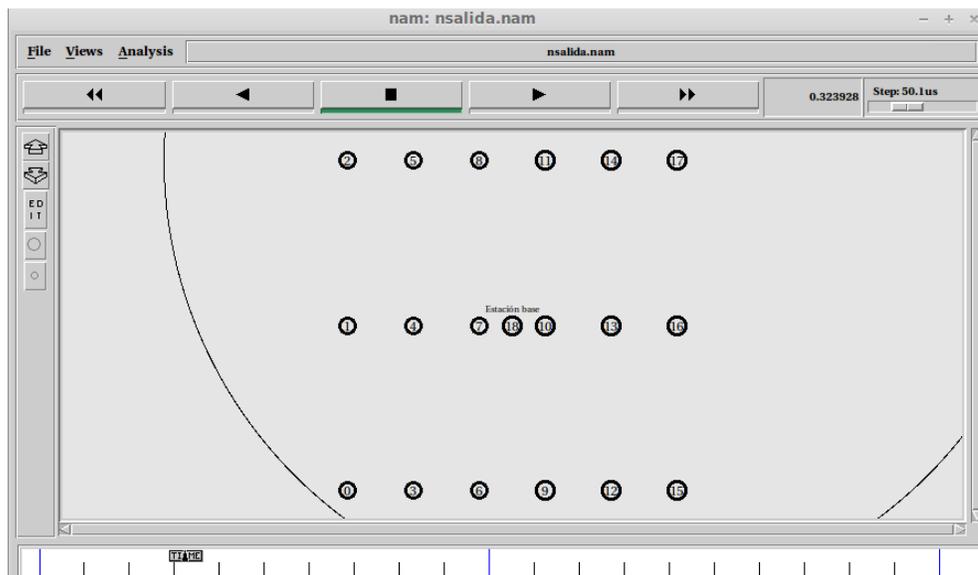
Figura 3-15. Resultados escenario 1.

```
Luisklg-VirtualBox Hogar # awk -f asalida.awk tsalida.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 288374
Paquetes recibidos: 288374
Porcentaje de paquetes recibidos: 100%
```

▪ RESULTADOS ESCENARIO 2

El segundo escenario muestra un modelo para un conjunto de apartamentos en el cual cada apartamento usa un modelo como el del escenario 1 en el cual envían toda la información a través de un nodo central, en este caso se utiliza un esquema de 18 apartamentos con un nodo central donde se recoge la información de todos los apartamentos para medir la capacidad de este tipo de sistemas, el esquema de simulación en nam se muestra en la Figura 3-16.

Figura 3-16. Escenario 2 de simulación en nam.



El tiempo de simulación es de una hora y el intervalo del envío de los paquetes es de 100ms al igual que en el escenario 1, la información que se maneja la información de

seguridad de los hogares, iluminación del conjunto y demás aspectos del manejo de los apartamentos. En la Figura 3-17 al igual que en el primer escenario se observan las dos gráficas prácticamente sobrepuestas lo que indica y ratifica la Figura 3-18 que casi el 100% de los paquetes enviados fueron recibidos por el nodo central, específicamente el 99.98%, con respecto al primer escenario como era de esperarse el número de paquetes tanto enviados como recibidos aumento sustancialmente ya que en este caso se pasa de 4 nodos fuentes de tráfico a 18.

Figura 3-17. Paquetes entregados y recibidos escenario 2.

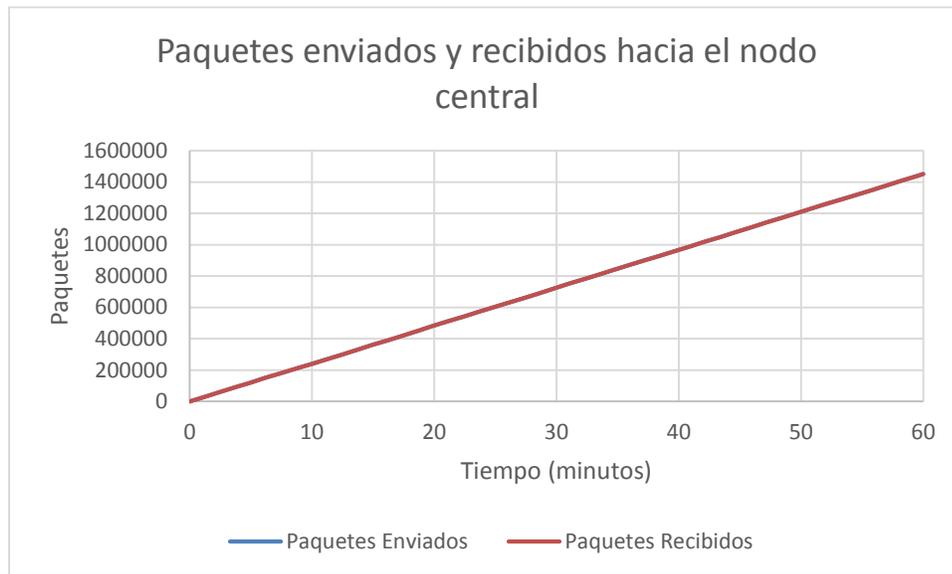
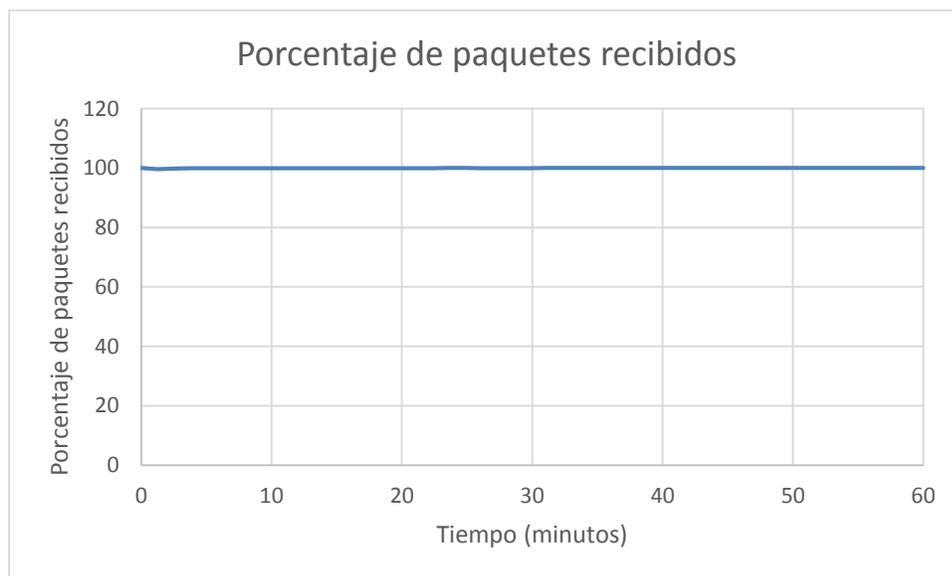


Figura 3-18. Porcentaje de paquetes recibidos por el nodo central Escenario 2.



Los resultados finales de la simulación codificados con AWK se muestran en la Figura 3-19.

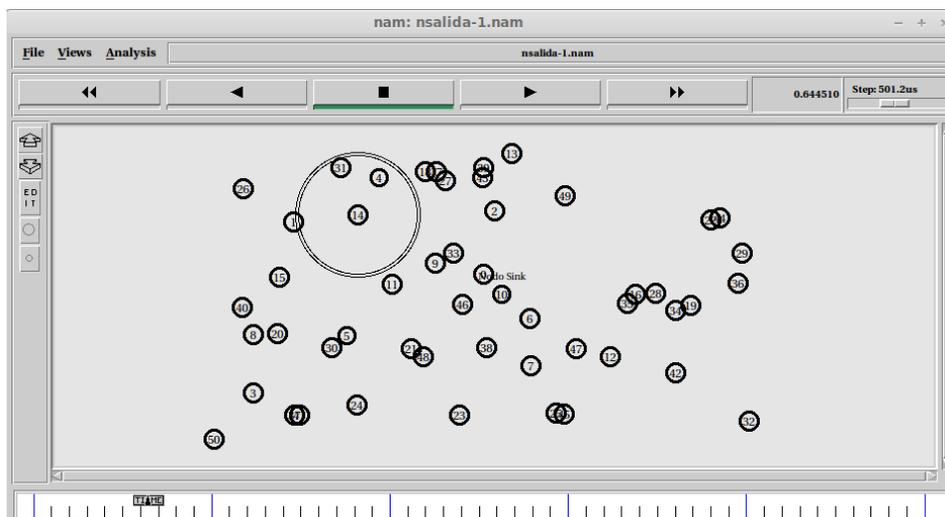
Figura 3-19. Resultados escenario 2.

```
luisklg-VirtualBox Conjunto # awk -f asalida.awk tsalida.tr
Tiempo: 59.9988 minutos
Paquetes enviados: 1451340
Paquetes recibidos: 1450980
Porcentaje de paquetes recibidos: 99.9752%
```

▪ **RESULTADOS ESCENARIO 3**

El tercer escenario muestra un esquema de movilidad con varios nodos en un área fija de 1000x1000 metros en la que los nodos pueden tomar diversas rutas y se trata de enviar la información a un nodo sink o sumidero en el cual se busca centralizar toda la información o el acceso a Internet este esquema es similar al de una estación base en el caso de telefonía celular que se encarga de recoger todas las llamadas en una celda ya que es posible que con esta tecnología se den los primeros usos para el Internet de las Cosas, el modelo de simulación se encuentra en la Figura 3-20.

Figura 3-20. Escenario 3 de simulación en nam.



En este escenario se generaron 3 modelos de movilidad para tener una idea de qué modo el movimiento arbitrario de los nodos puede afectar la recepción de los paquetes en el

nodo sink, para este caso se muestra la gráfica del comportamiento de uno de los 3 modelos de movilidad y los resultados finales de los 3 para realizar el análisis sobre estos, también se prueba el modelo aumentando el número de nodos a 100 en este punto el tiempo de simulación ya se hacía bastante extenso por lo que se realizaron algunas pruebas para mayor número de nodos obteniendo pérdidas de paquetes más grandes pero sin tener una relación de recibidos sobre enviados menos al 92%.

Además se realizaron pruebas con los protocolos AODV y DSDV con los cuales los resultados finales en porcentaje eran muy similares la principal diferencia era la reacción al iniciar la simulación que es el punto donde más nodos están tratando de enviar la información al tiempo donde el protocolo AODV reaccionaba de mejor manera y de este son los resultados mostrados en la Figura 3-21 y en el caso del DSDV se tenía una pérdida sustancial en esta primera parte de la simulación pero en el resto de la simulación las pérdidas eran mínimas por lo que los resultados finales eran similares pero mejores para el caso del protocolo AODV.

Figura 3-21. Paquetes enviados y recibidos escenario 3 con 50 nodos

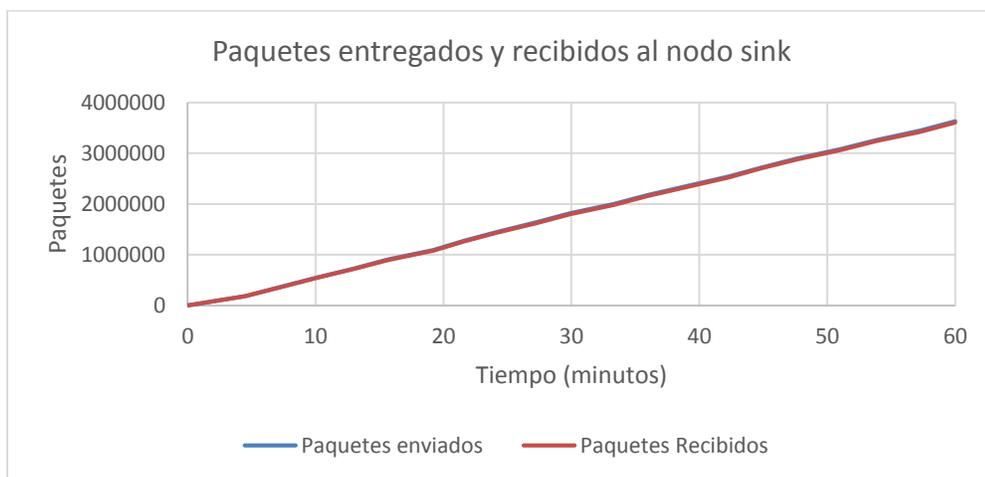
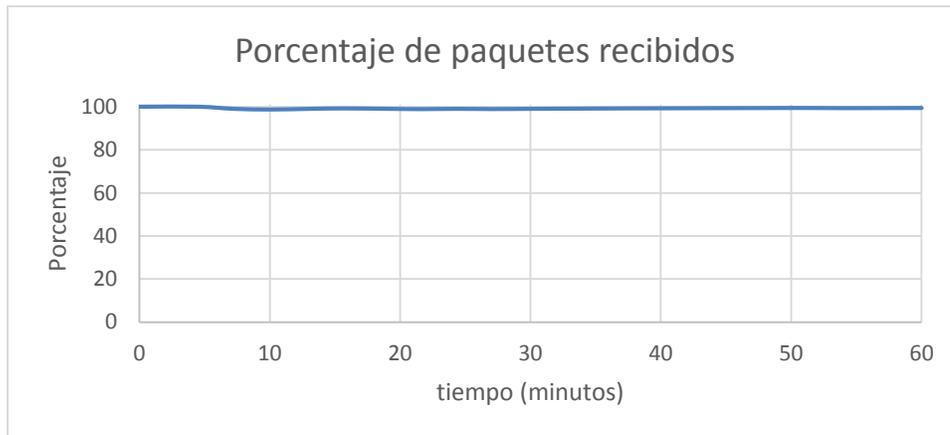


Figura 3-22. Porcentaje de paquetes entregados escenario 3 con 50 nodos

Los resultados finales de los tres escenarios de movilidad presentados para los 50 nodos se muestran en la Figura 3-23.

Figura 3-23. Resultados Escenario 3 con 50 nodos

```
luisklg-VirtualBox Resultados # awk -f asalida.awk tsalida-1.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 3628800
Paquetes recibidos: 3607200
Porcentaje de paquetes recibidos: 99.4048%
luisklg-VirtualBox Resultados # awk -f asalida.awk tsalida-2.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 3484800
Paquetes recibidos: 3430800
Porcentaje de paquetes recibidos: 98.4504%
luisklg-VirtualBox Resultados # awk -f asalida.awk tsalida-3.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 3567600
Paquetes recibidos: 3546000
Porcentaje de paquetes recibidos: 99.3946%
```

Se realizó el mismo proceso que para el modelo con 50 nodos pero ahora con 100 nodos y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 3-24, obteniendo resultados similares a los casos anteriores pero como es lógico con una relación de paquetes mayor.

Figura 3-24. Resultados 100 Nodos

```
luisklg-VirtualBox Resultados # awk -f asalida.awk tsalida-1.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 7059600
Paquetes recibidos: 6987600
Porcentaje de paquetes recibidos: 98.9801%
luisklg-VirtualBox Resultados # awk -f asalida.awk tsalida-2.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 7160400
Paquetes recibidos: 7095600
Porcentaje de paquetes recibidos: 99.095%
luisklg-VirtualBox Resultados # awk -f asalida.awk tsalida-3.tr
Tiempo: 60 minutos
Paquetes enviados: 7264800
Paquetes recibidos: 7203600
Porcentaje de paquetes recibidos: 99.1576%
```

De las diferentes simulaciones realizadas se puede concluir que la pérdida de paquetes en los procesos iniciales que se pueden tener en el Internet de las Cosas es relativamente pequeño pero que es importante relacionar cuál de los protocolos de enrutamiento es el más idóneo para este servicio, con las simulaciones se obtuvo que en este caso era el AODV pero cuando se comiencen a comercializar de manera más efectiva los equipos y servicios del Internet de las Cosas se deben realizar de nuevo estas simulaciones para adaptarlas a las nuevas características que puede traer el IoT a futuro.

También es importante tener en cuenta aspectos como la cobertura del nodo central que en general será una antena de alguna tecnología como Wifi y Wimax, el tipo de cola y capacidad de la cola de información y la cantidad de nodos conectados y enviando información a la central.

Al realizar este tipo de simulaciones es importante tener en cuenta la capacidad del computador en las que se realizan ya que cuando se aumenta la complejidad en especial en número de nodos el tiempo de simulación aumenta drásticamente para las simulaciones de 100 nodos ya se tardaba en generar el archivo .tr cerca de medio día y estos archivos ya pesaban varias Gigas cada uno, también para generar los modelos de movilidad entre más nodos se tenían el tiempo que se tardaba en generarlos era bastante grande.

4. Estudio del impacto económico de la transición de Internet al IoT.

En esta sección se describe de qué manera impactara el despliegue del Internet de las Cosas en las personas, sus hogares y sus posibilidades en la industria como tal, para el desarrollo de este estudio se plantea la realización de una encuesta para conocer las necesidades de la comunidad, el conocimiento actual de las nuevas tecnologías para poder medir el grado de apropiación de las tecnologías y la influencia que podrá tener en las personas en el futuro, el primer paso para el estudio a partir de la encuesta es contextualizar a partir de estudios sobre Internet y uso de tecnologías similares y así abordar de mejor manera esta temática, en la siguiente sección se hace un análisis de estos estudios y estadísticas nacionales e internacionales que pueden ayudar al desarrollo de este trabajo.

4.1 Estudios económicos de interés sobre internet.

Para observar la perspectiva del Internet de mejor manera se toman como referencia las estadísticas mostradas a nivel nacional por entes gubernamentales como el MINTIC y el DANE e internacionalmente la información entregada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ente encargado de la normalización y desarrollo en el sector TIC y de telecomunicaciones en el mundo.

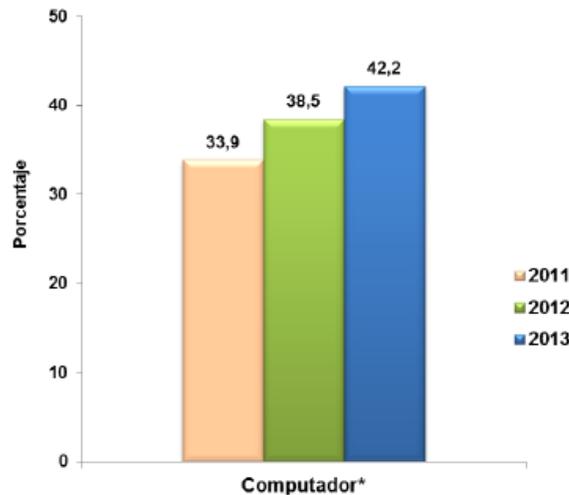
4.1.1 Estadísticas nacionales

Las principales estadísticas en términos de Internet en Colombia están dadas por el DANE, MINTIC y Cámara Colombia de Comercio Electrónico (CCCE) por lo que son las que se tomarán como referentes para este estudio, en aspectos como acceso a Internet, Internet en el hogar, tenencia de computador en el hogar entre otros aspectos.

Al obtener los datos del informe de la Encuesta de Calidad de Vida realizada por el DANE en el 2013 se observa en la Figura 4-1 el porcentaje de hogares con computador va

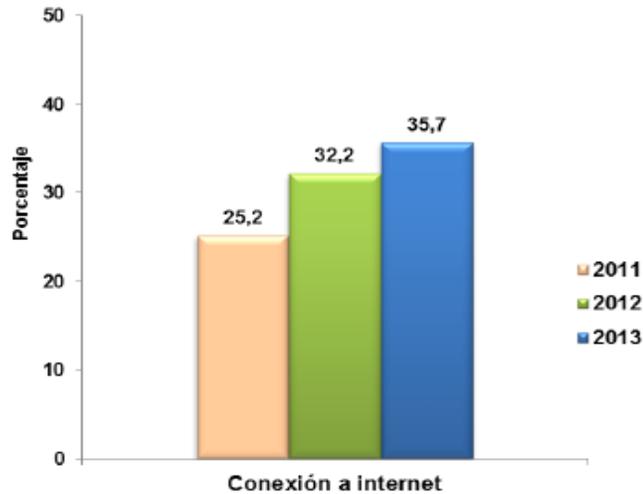
creciendo cada año entre 2011 y 2013 ha tenido un aumento de 8,3% con lo que se facilita el acceso a nuevas tecnologías y mayor información para las personas, es importante distinguir que computador puede ser computador de escritorio, portátil o Tablet para estas estadísticas.

Figura 4-1. Porcentaje de Hogares con computador [55]



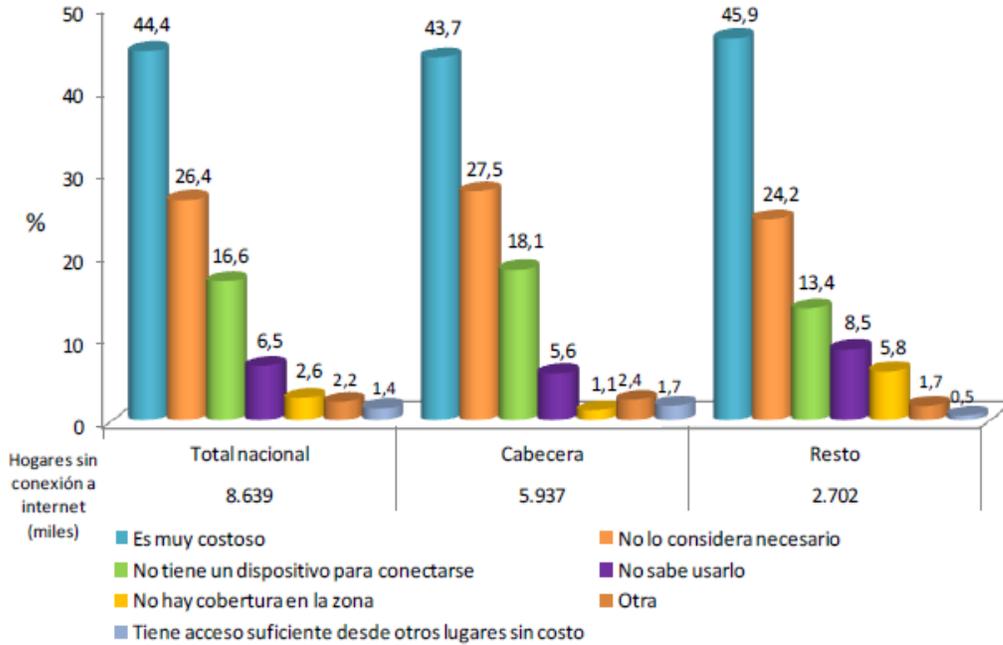
El otro aspecto que entrega esta encuesta es el porcentaje de conexión a Internet en los hogares colombianos que se muestra en la Figura 4-2, en ella se observa el crecimiento continuo en acceso a Internet que es la otra herramienta clave para la apropiación y uso de este tipo de tecnologías en el país, la conexión de Internet puede ser fija o móvil es un aspecto a tener en cuenta debido a la gran acogida que han tenido los módems móviles en el país y el acceso por medio de celulares inteligentes que se puede tener, al ver el porcentaje de personas que tienen acceso a conexión de Internet en el Hogar se observa que el Internet de las Cosas tiene un nicho de mercado grande y que va creciendo año tras año, en especial por las políticas nacionales en términos de acceso a Internet.

Figura 4-2. Porcentaje de Hogares con conexión a Internet. [55]



También el MINTIC en colaboración con el DANE realizan indicadores de uso de tecnologías de la información y comunicación en los hogares el último informe fue realizado en marzo de 2014 y los principales aspectos para resaltar son a partir de los resultados anteriores se analizó las principales razones de las personas por las que no poseen Internet en el Hogar, en la Figura 4-3 se observa la distribución de las razones del no acceso a Internet en los hogares a nivel nacional, de las principales cabeceras del país y del resto del país, se identifica que las 3 principales razones son que es muy costoso, no lo considera necesario y que no tiene dispositivo para conectarse, de aquí se puede deducir que un reto grande para el Internet de las Cosas es tener equipos terminales y acceso a Internet más económico y por parte de los entes gubernamentales es necesario concientizar a las personas de la necesidad y los beneficios que trae el Internet para el desarrollo personal y empresarial y darle la capacitación necesaria para que las personas puedan hacer uso de estas herramientas.

Figura 4-3. Distribución de razones por las que los hogares no tienen acceso a Internet [56]

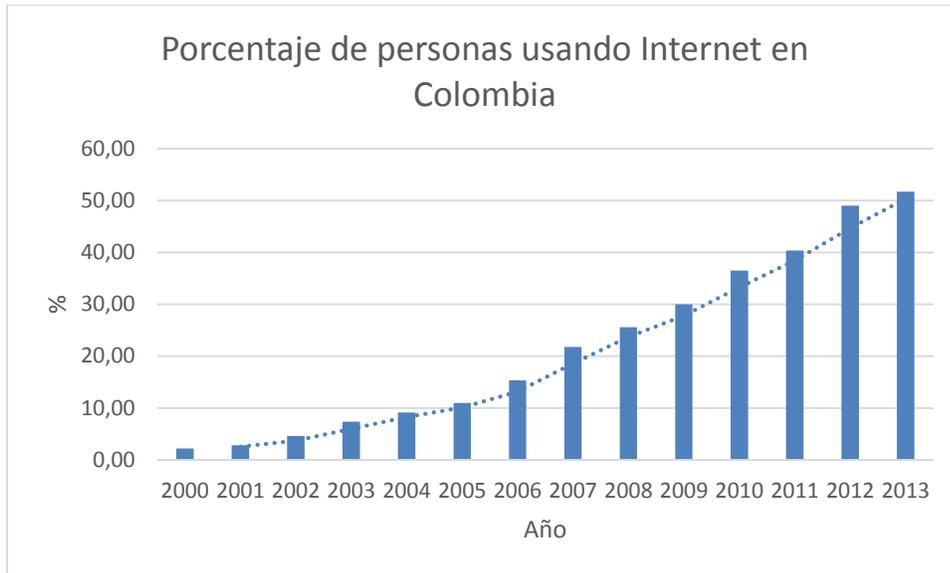


4.1.2 Estadísticas Internacionales

Las principales estadísticas internacionales que permiten un análisis para el caso colombiano se encuentran en la UIT que refleja información de países de las diferentes regiones del mundo y así se podrá hacer un análisis del estado del país con respecto a otros de la misma región y del mundo.

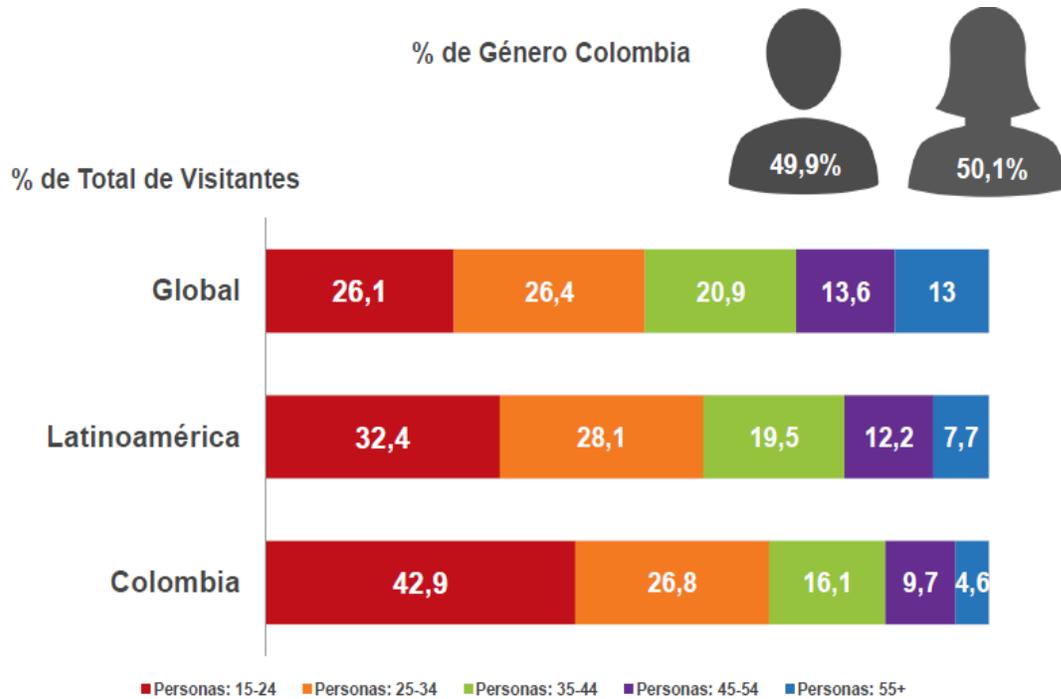
En las estadísticas mundiales de uso de Internet por parte de las personas se encuentra que en Colombia se encuentra un fuerte crecimiento desde el 2000 al 2013 pasando de cerca del 2,21% en el 2000 a un 51,7% en el 2013 lo que representa que en menos de 15 años Colombia paso de un nivel casi inexistente de uso de Internet a que más de la mitad de la población utilizará este tipo de medios electrónicos lo que es un gran aliciente para el despliegue de nuevas tecnologías entorno a Internet, en la Figura 4-4 se observa el crecimiento del uso de Internet en Colombia desde el 2000 al 2013 datos tomados de la UIT.

Figura 4-4. Porcentaje de personas usando Internet en Colombia. Datos tomados de [57]



En un estudio realizado por la empresa comScore que es una de las principales firmas de análisis del estado de las TIC y las telecomunicaciones en el mundo, sobre Colombia se encuentra que el perfil de las personas que acceden a Internet en el país es en su mayoría jóvenes que están entre las edades de 15 y 34 años, en la Figura 4-5 se muestra como es la distribución de los visitantes de Internet con relación a su edad, mostrando el caso de Colombia, de Latinoamérica y del mundo, al realizar esta comparación se observa que el promedio de edades en el mundo y en Latinoamérica es mayor al presentado en Colombia esto también puede estar dado por las razones mostradas en la Figura 4-3 del porque no tienen acceso a Internet los colombianos, es importante resaltar que la principal población en la que Internet tiene impacto es muy posible que sea la misma en la que el Internet de las Cosas vaya a tener mayor trascendencia.

Figura 4-5. Composición del total de visitantes de Internet. [58]



Según el reporte de abril de 2014 realizado por la Cámara Colombiana de Comercio Electrónico (CCCE) y comScore las principales categorías de sitios web visitados por los colombianos son de servicios, presencia corporativa y redes sociales, en la Figura 4-6 se observan las principales 20 categorías visitadas en Colombia y el porcentaje de alcance de cada categoría sobre el total de visitas a páginas de Internet.

En las 20 categorías reflejadas en el reporte de la CCCE, se observa que en la mayoría de ellas el Internet de las Cosas puede tener en mayor o menor grado incidencia y campos de acción para desarrolladores en temáticas relacionadas, principalmente en las categorías más visitadas que son de servicios y portales empresariales.

Figura 4-6. Principales categorías visitadas por los colombianos en Internet. [59]

Categoría	Total Visitantes Únicos (000)	% de Alcance
Total Internet : Total Audience	13,122	100.0
Services	12,860	98.0
Corporate Presence	12,860	98.0
Social Media	12,705	96.8
Portals	12,695	96.7
Social Networking	12,394	94.5
Search/Navigation	12,168	92.7
Entertainment	11,830	90.2
Directories/Resources	10,339	78.8
News/Information	10,237	78.0
e-mail	9,463	72.1
Reference	9,172	69.9
Multimedia	9,042	68.9
Lifestyles	8,751	66.7
Publisher	8,547	65.1
Technology	8,517	64.9
Blogs	7,430	56.6
Retail	7,017	53.5
Newspapers	6,723	51.2
Games	6,691	51.0
General News	5,987	45.6

4.1.3 Iniciativas Nacionales

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) y el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) han creado una convocatoria para conformar centros de excelencia y apropiación en Internet de las Cosas, la cual va dirigida a empresas líderes en el sector y universidades para el desarrollo de sectores estratégicos entorno al IoT, esto afianza lo descrito en este trabajo en el cual se evidencia posibilidades de negocio en esta industria en el país en especial en el campo de I+D. [60]

Esta convocatoria tuvo apertura el 17 de septiembre de 2014 y cerrará el 16 de enero de 2015, donde se busca un fuerte vínculo entre universidades y empresas, debido a que se exige que en cada propuesta se deben tener al menos dos universidades acreditadas de alta calidad y dos empresas líderes del mercado junto a otras dos empresas, por lo que se logrará una buena interacción industrial-universidad que ayudará al desarrollo económico del país. [61]

A partir de este tipo de convocatorias se resalta la importancia del desarrollo de aplicaciones e investigaciones sobre el tema a nivel nacional con enfoque empresarial.

Otra iniciativa que ha permitido alcanzar el grado de conectividad que tiene actualmente el país es el Plan Vive Digital que impulsa el gran salto tecnológico a través de la masificación del uso Internet con el fin de reducir la pobreza y generar empleo. Para lograrlo el Plan impulsa el ecosistema digital del país conformado por 4 grandes componentes: Infraestructura, Servicios, Aplicaciones y Usuarios. [62]

4.2 Diseño y aplicación de encuesta sobre IoT.

A partir de los estudios nacionales e internacionales sobre el tema se evidenció que el perfil sobre el cual se debe realizar el estudio es principalmente a personas con acceso a Internet en edades comprendidas entre los 15 y 45 años donde se encuentra el mayor porcentaje de la población que hace uso efectivo de Internet y que visita páginas de consumo.

Para el desarrollo de la encuesta se tomaron como referentes la encuesta realizada en el estudio hecho por el grupo GITUN de la Universidad Nacional para la adopción de IPv6 en el país en conjunto con el MINTIC llamado “Estudio de Impacto Socio-Económico sobre la adopción de la Tecnología IPv6 en Colombia” este tipo de encuesta se encuentra íntimamente relacionada con lo que se quiere obtener en este estudio, también se tomó como referente la encuesta “Estudio Integral Cualitativo y Cuantitativo de los Efectos en los Usuarios de los Servicios de Telefonía Móvil, Telefonía Fija e Internet Dedicado, de las Medidas Regulatorias Expedidas por la Comisión, Correspondientes a los Regímenes de Calidad y Protección de los Usuarios y Portabilidad Numérica” que desarrolla actualmente el mismo grupo para analizar el modelo de las preguntas y poder generar mejores indicadores en el estudio.

Para el desarrollo de las preguntas y de la encuesta en sí misma no basta con tener un referente de encuesta similar a la que se quiere realizar, también es importante tener un modelo para la generación de la misma y poder hacer el análisis estadístico de los resultados que sea lo más fiel a la realidad posible, es por esto que a continuación se describe un poco el modelo aplicado para el desarrollo de la encuesta y la formulación de las preguntas.

Lo primero es entender que realizar una encuesta a toda la población del país es una tarea inviable porque el esfuerzo y el costo para realizarla serían muy altos por esto en este estudio se espera a partir de una muestra poblacional que permite ver el panorama general

del país hacer el análisis, la validez de una investigación por medio de encuesta depende directamente de la calidad de la encuesta que en ella no se tengan errores y de que sea capaz de extender los resultados a la población general a partir de la población muestreada, que son dos premisas a cumplir en este estudio.

Para el desarrollo de la encuesta se utilizó el modelo presentado por el instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI) es importante tener en cuenta que en el caso de México a las encuestas se les conoce más comúnmente como cuestionarios, además del modelo del INEGI se utilizó el “Plan Estratégico Nacional de Estadísticas” [63] y la “Metodología: Aseguramiento de la Calidad de la Información Estadística” [64] documentos del DANE con los que se generan los diferentes estudios estadísticos en el país, como referente teórico para la determinación del tamaño de la muestra necesaria para que la información recolectada fuera fiable se utilizó el libro “Introducción al muestreo” de David Ospina [65], el modelo del INEGI y el diseño de la encuesta se muestra en el ANEXO B.

4.2.1 Encuesta

La encuesta se encuentra activa y se mantendrá así durante un tiempo más extenso al de los resultados reflejados en este documento para generar una actualización continua sobre la información y las perspectivas del Internet de las Cosas en el país y para generar propuestas de investigaciones futuras entorno a temáticas relacionadas, actualmente la encuesta se encuentra disponible en la web en el siguiente link: <https://docs.google.com/forms/d/1dxofxPK1XD5Ur5OCUaFRER7FMJG925mjjJJuWHAW6WU/viewform>

Como se mencionó anteriormente todo el diseño de la encuesta y su estructura final se encuentra en el ANEXO B, esta esta estructurada en tres grandes campos, el primero es la información básica que da el contexto de las personas que están llenando la encuesta, La primera parte de la encuesta es la información básica que da el contexto de la persona que está llenando la encuesta, la segunda parte es enfocada a la parte de Internet de las Cosas y la última sección se hace un mayor énfasis en las diferentes tecnologías del Internet de las Cosas y su posible utilidad en la vida cotidiana y comercial de las personas y se ejemplifica algunas de las principales aplicaciones que tiene el Internet de las Cosas para darle un contexto al encuestado para el llenado.

4.2.2 Diseño Muestral

Después del desarrollo de la encuesta se busca definir el tamaño de la muestra que arroje resultados confiables y con errores absolutos no tan grandes, para esto se utilizó como base el procedimiento para la estimación de la varianza poblacional sugerida por David Ospina Botero en su libro introducción al muestreo, en el que se define que se debe realizar una revisión bibliográfica sobre encuestas sobre población similares o realizar una muestra piloto de tamaño n_1 donde $n_1 \leq 30$ y calculando la varianza poblacional S^2 con la varianza de esta muestra S^{*2} . [65]

A partir de esta base se realiza la encuesta a una población de 25 personas es decir con $n_1 = 25$, y para el cálculo de la varianza se utiliza la pregunta “3.1 ¿Ha escuchado hablar sobre el Internet de las Cosas?” con la que podemos inferir de mejor manera sobre la tecnología que aborda el estudio, a partir de estos valores se calcula la varianza utilizando la Ecuación 4-1.

$$S^2 = \frac{N}{N-1} P * Q = \frac{A}{N-1} Q \quad (4-1)$$

Donde: A es el número total de elementos en la población que poseen el atributo y se rige por la ecuación 4-2.

$$A = \sum_{i=1}^N y_i \quad (4-2)$$

P es la proporción población con el atributo deseado y es la relación entre A y N como se observa en la ecuación 4-3

$$P = \frac{A}{N} \quad (4-3)$$

Y Q es simplemente la población que no posee el atributo deseado y se obtiene con la ecuación 4-4.

$$Q = 1 - P \quad (4-4)$$

Al realizar la prueba piloto se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4-1 para la pregunta 3.1.

Tabla 4-1. Resultados Prueba Piloto

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Respuesta	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO
Número	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Respuesta	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO
Número	19	20	21	22	23	24	25		
Respuesta	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO		

Con estos parámetros se calcula la varianza poblacional en la ecuación 4-5.

$$S^2 = S^{*2} = \frac{9}{25-1} \left(1 - \frac{9}{25}\right) = 0,185 \quad (4-5)$$

A partir de la varianza poblacional obtenida se calcula el tamaño de la muestra teniendo en cuenta dos métodos para alcanzar un tamaño de muestra adecuado, el primero utilizado en la ecuación 4-6 el segundo el mostrado en la ecuación 4-9.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (4-6)$$

Con n_0 calculado con la ecuación 4-7.

$$n_0 = \frac{z^2 S^2}{\delta^2} \quad (4-7)$$

Con z la confiabilidad y δ el error absoluto parámetros que son definidos por el investigador como $z = 1,95$ para un 95% de confiabilidad y $\delta = 10\%$.

$$n = \frac{70,368}{1 + \frac{70,368}{N}}$$

A partir de análisis realizados por Azorín si N es muy grande su efecto sobre el tamaño de la muestra es despreciable como lo es en este caso, que se toman como población objetivo a las personas con acceso a Internet dato tomado de la última Encuesta de Calidad de Vida realizada por el DANE en 2013, siendo el 51,7 % de las personas de 5 años o más participantes en la encuesta de 21.565 hogares [66], partiendo de esta referencia el N mínimo sería de 11149, con este valor evaluado en la ecuación 4-8 que muestra cual es valor máximo de N que produciría un cambio significativo en el tamaño de la muestra se obtiene:

$$N = \frac{z^2 S^2}{\delta^2} \left(\frac{z^2 S^2}{\delta^2} - 1 \right) = 4881,30 \quad (4-8)$$

Por lo anterior el tamaño de la muestra se puede evaluar perfectamente con 11149 con lo que se obtienen los siguientes resultados:

$$n = \frac{70,368}{1 + \frac{70,368}{11149}} = 69,97$$

Siendo el tamaño de la muestra de 70 personas para obtener datos con una confiabilidad de 95% y un error absoluto del 10%, Ospina también plantea que al realizar una prueba piloto, se puede presentar incertidumbre sobre los resultados del tamaño de muestra por lo que plantea que se debe realizar el cálculo a partir de la ecuación 4-9 para anular esta incertidumbre:

$$n = \frac{z^2 S^2}{\delta^2} \left(1 + \frac{2}{n_1}\right) \quad (4-9)$$
$$n = n_0 \left(1 + \frac{2}{n_1}\right) = 70,368 \left(1 + \frac{2}{25}\right) = 75,99$$

A partir de estos cálculos con un tamaño de muestra igual o superior a 76 personas encuestadas se elimina la incertidumbre sobre los resultados de la investigación que se está realizando.

4.2.3 Indicadores

Los indicadores permiten a partir de preguntas concretas de la encuesta evaluar el impacto, conocimiento y oportunidades que el despliegue del Internet de las Cosas tiene en Colombia, se observan aspectos importantes de la percepción de las personas sobre este tipo de tecnologías en el país y si generan beneficios desde el punto de vista de la población a continuación se mencionan los principales indicadores utilizados para esta medición.

El primer indicador es sobre la confianza en la seguridad de la información que se encuentra almacenada en Internet y se calcula a partir de los resultados de la encuesta de manera similar a como se realizaron los cálculos del tamaño de muestra a partir del cálculo de P pero multiplicado por cien por ciento para obtener el porcentaje de la población en este caso evaluado en la pregunta 2.7, el segundo indicador es el conocimiento sobre Internet de las Cosas y se calcula a partir de la pregunta 3.1, en el tercer indicador se observa si las personas están dispuestas a tener almacenada información sobre las actividades diarias, que está relacionada con la pregunta 3.4 de la encuesta, el cuarto indicador es sobre potencialidades del Internet de las Cosas sobre mejoramiento y creación de negocios y se calcula a partir de la pregunta 3.7, todos estos indicadores mencionados se calculan a partir de la ecuación 4-10 solo que evaluado en su respectiva pregunta.

$$\text{Indicador} = P = \frac{A}{N} \quad (4-10)$$

También se pueden relacionar otros tipos de indicadores que ya no se miden de esta misma manera por tener otro tipo de respuestas, pero que igualmente son de interés para el estudio, estas son las estadísticas dadas por las preguntas 3.5 y 3.6 en las cuáles la respuesta es un valor o un tiempo en años, por lo que el análisis de estos resultados no se medirán directamente con un indicador sino se evaluarán los datos obtenidos.

El último aspecto que no es medible directamente pero que es importante analizar es sobre las oportunidades o tareas que las personas reflejan que se deberían hacer de manera automática que relacionan en la pregunta 2.5, porque en esta información se puede encontrar un esbozo de cuáles son las primeras actividades que se pueden abordar para impactar de manera más directa a la sociedad con el Internet de las Cosas.

4.2.4 Análisis de resultados encuesta.

La encuesta fue aplicada a 116 personas, el estudio se realizó centrado en los estudiantes de educación superior debido a que ellos son los principales actores en el despliegue del Internet de las Cosas en el país, además como se comentó en el desarrollo de la encuesta en general el primer paso es determinar el tipo de persona a la que se le realiza la encuesta por esta razón a partir de los datos obtenidos en la sección de información básica de la encuesta las personas se clasificarán según la edad, nivel educativo, ocupación y el estrato económico, para identificar los perfiles en los que el Internet de las Cosas puede lograr mayor aplicación, en la Figura 4-7, Figura 4-8, Figura 4-9, y la Figura 4-10 se observa la distribución de los encuestados en la clasificación antes mencionada.

Figura 4-7. Distribución de encuestados por Estrato Económico del Hogar

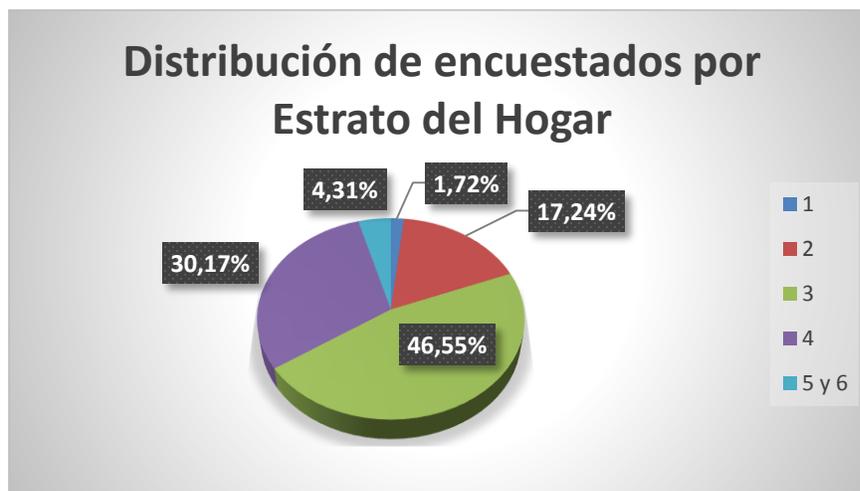
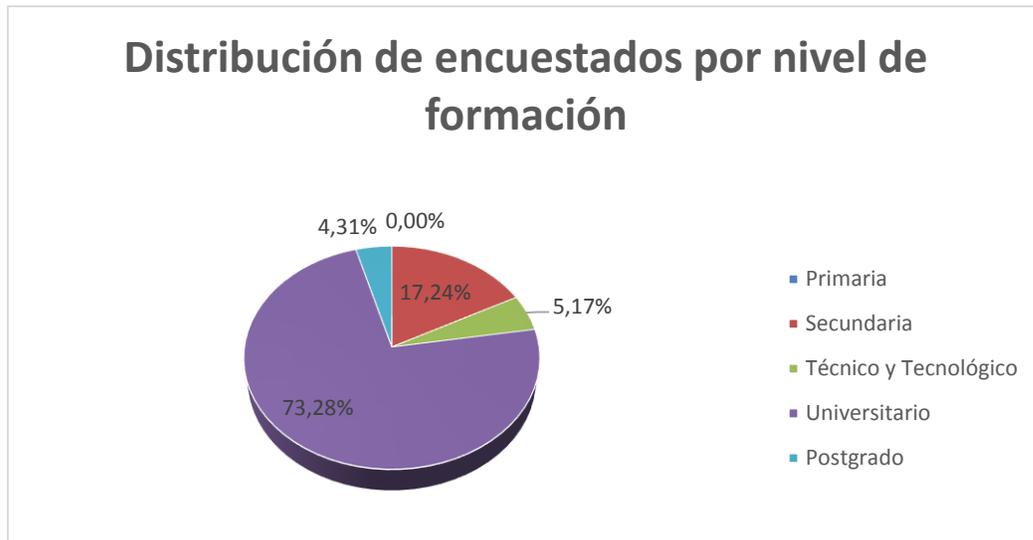
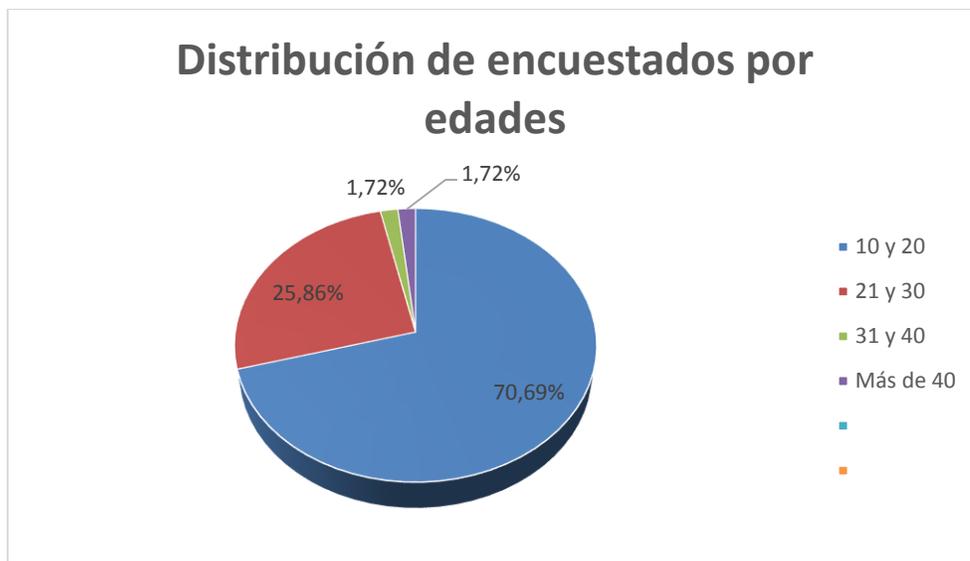
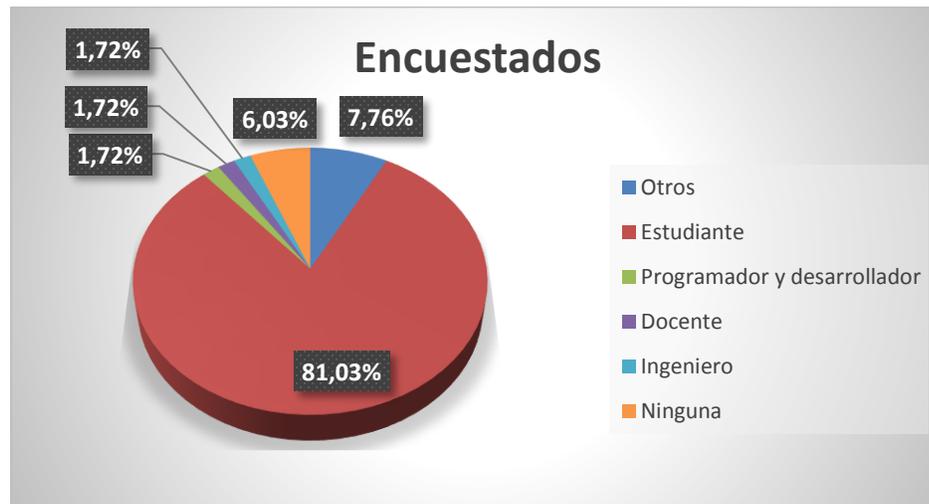


Figura 4-8. Distribución de encuestados por nivel de formación.**Figura 4-9.** Distribución de encuestados por edades.

Según las gráficas de distribución de los encuestados se identifica que la población se distribuye principalmente entre los estratos 3 y 4, en un nivel de formación universitario, una edad principalmente comprendida entre los 11 y 40 años y la ocupación mayoritariamente es estudiante, por lo que es una población que permite ver las características generales que espera el estudio, ya que este tipo de población será la que se encargara de la implantación y utilización en mayor porcentaje del Internet de las Cosas.

Figura 4-10. Distribución de encuestados por ocupación.



En la Figura 4-10 las profesiones en las que se obtuvo un porcentaje de participación inferior al 2% se agruparon en la categoría otros ya que no eran mayoritarias para el estudio, entre otras en esta categoría se agruparon las profesiones de geología, medicina, técnicos e independientes.

Después de analizar las características de las personas encuestadas, se observa que esta población es adecuada para el desarrollo de este estudio, por lo que a partir de los indicadores y preguntas definidas anteriormente de la encuesta se realiza el análisis de la información y las conclusiones del estudio.

4.2.5 Evaluación de indicadores.

El siguiente paso en el desarrollo del estudio es realizar la evaluación de los indicadores planteados y de las diferentes características mencionadas en la sección anterior referente a indicadores.

- **Indicador de confianza en la seguridad de la información.**

A continuación se calcula el primer indicador el cual evidencia cuál es la percepción de las personas sobre la seguridad que tiene el manejo de la información en Internet, como se observa solo un 19,82% tiene confianza en el manejo de su información en Internet esto puede estar relacionado con los recientes incidentes de robo de información por hackers que se han dado a conocer a nivel mundial.

$$Indicador_{confianza} = \frac{23}{116} * 100\% = 19,82\%$$

- **Indicador de conocimiento del Internet de las Cosas.**

El segundo indicador que se calculó fue el relacionado con el conocimiento sobre Internet de las Cosas en este punto no se evalúa si la persona tiene conocimiento técnico al respecto de la tecnología sino tan solo si tiene la idea de lo que la misma conlleva, los resultados en este caso es de un conocimiento así sea básico del IoT de un 31,89% de la población, lo que para una tecnología emergente es alto en un país en vías de desarrollo, pero que puede venir influenciada del acceso y masificación del Internet en Colombia.

$$Indicador_{conoc_IoT} = \frac{37}{116} * 100 = 31,89\%$$

- **Indicador de uso del almacenamiento de información en Internet.**

El tercer indicador el cual debería guardar algo de correlación con el primer indicador de seguridad tiene un porcentaje mucho más alto de aceptación por las personas, esto se puede dar por la necesidad que ha generado el Internet en el diario vivir de las personas, las cuales a pesar de no tener total confianza en la seguridad de la información que almacenan en Internet lo continuarían haciendo en especial si hay nuevas tecnologías para este tipo de seguridad, que es uno de los grandes retos del Internet de las Cosas.

Este indicador obtuvo un 68% como se muestra a continuación.

$$Indicador_{almac_info} = \frac{79}{116} * 100\% = 68,10\%$$

- **Indicador de potencialidades en la industria y nuevos negocios por el Internet de las Cosas.**

El último indicador porcentual que se calculó genera una alta favorabilidad de las personas hacia que el Internet de las Cosas traerá nuevas oportunidades de negocio y potenciara las actividades industriales actuales en donde más del 70% de la población cree que estas tecnologías favorecerían los negocios como se muestra a continuación.

$$Indicador_{potencial_indyneq} = \frac{85}{116} * 100\% = 73,27\%$$

El siguiente parámetro que se evaluó a partir de las encuestas fue que tan cerca o lejos percibía la incorporación de estas tecnologías en Colombia, en este caso se encontró que las personas en su mayoría perciben que este tipo de tecnologías llegaran en un lapso de 5 a 20 años, en los cuales se tiene el 81% de la población, un 7,75% que creen que ya se

tienen este tipo de tecnologías y un pequeño porcentaje restante que cree que en 50 años o nunca se tendrán este tipo de conocimientos en el país.

Otro aspecto importante que se midió con el estudio es el presupuesto que las personas estarían dispuestas a invertir mensualmente para la automatización de diferentes tareas que el Internet de las Cosas trae consigo, el rango más importante en este caso fue el comprendido entre \$100.000 y \$500.000 que obtuvo un 29,31% y el siguiente fue el caso opuesto donde lo destinado es mínimo o nada el cual es de \$0 a \$20.000 con un 26,72%, un porcentaje menor que estaría dispuesto a invertir una suma superior a \$500.000 y el restante porcentaje en cifras comprendidas entre \$20.000 y \$100.000, esto muestra que los desarrollos, aplicaciones y negocios generados a partir del Internet de las Cosas tienen diferentes tipos de consumidores que están dispuestos a invertir en este tipo de actividades parte de sus ingresos, por esto es un reto generar aplicaciones de bajo-medio costo para poder impactar a la mayor parte de la población posible.

Y el último indicador más que un indicador son posibilidades de negocio que las personas plantean en las principales áreas que se puede impactar a la población en una primera etapa del despliegue del Internet de las Cosas en Colombia, en la Tabla 4-2 se muestran las principales aplicaciones que puede tener en un principio el IoT en el país.

En la tabla se muestran los aspectos reflejados por las personas filtrados debido a que en muchos casos se repetían así que se realizó un filtro en el cual se encontraron representados todos los aspectos presentados y las temáticas con las que tienen relación estos aspectos, estas temáticas van desde unas muy generales, hasta específicas como domótica, transporte y salud especialmente.

Tabla 4-2. Actividades que se deberían realizar de manera automática.

Aspecto	Temática
Mantenimiento de diversos objetos	General
Conducir, para evitar trancones y accidentes	Transporte
Pago de servicios o pagos de banco.	Financiero
Transporte publico eficiente	Transporte
En general la automatización de las tareas del hogar.	Domótica
Procesos en la industria	Industria
Control vehicular eficiente	Transporte
Domótica para seguridad	Domótica
Control de iluminación al despertar.	Domótica

Se baje el volumen de la música sola a consideración de la salud.	Salud
Gestiones bancarias, tramites notariales	Financiero
Monitoreo de enfermedades crónicas preventiva y correctivamente.	Salud
Identificar la hora de llegada del bus que me lleva al trabajo	Transporte
Hacer búsquedas de artículos en bases de datos con la voz	Educación
Semaforización, sistema de transporte masivo y de información vial.	Transporte
Pagar cuentas, información climática, agendar citas, almuerzos,	General
Todas las necesarias para el ahorro de energía	Recursos
Control de energía del hogar	Recursos
Controlar el gasto del agua	Recursos
Control: luces, infraestructuras, tráfico, inventario, seguridad, etc	General
Medicación pero con previos exámenes médicos	Salud

A partir de los diferentes aspectos reflejados anteriormente se concluye que en Colombia hay un escenario propicio para iniciar a desplegar el Internet de las Cosas en términos financieros pero es importante desarrollar políticas de protección y seguridad de la información que genere en las personas confianza y crear aplicaciones que estén al alcance de las manos de personas en costos realizando proyecciones similares a los de los operadores de telefonía móvil en la que se esperar prestar un servicio por un tiempo prolongado y tenían tasas de retorno sobre los abonados.

Es importante resaltar que a pesar que las personas tienen una percepción de que la información que almacenan actualmente no está segura, si se generan tecnologías más seguras están dispuestos a almacenar su información en Internet en un alto porcentaje, donde la apuesta a futuro es tener un mundo de información almacenada en la nube conocida como BIG DATA por la gran cantidad de datos que se busca manejar con este tipo de tecnologías.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

La adopción de nuevas tecnologías en el país debe ir de la mano de iniciativas de apropiación tecnológica que fomenten el buen uso de estas herramientas para el desarrollo a nivel personal y empresarial, en especial sobre el manejo de la información en los contextos del país.

El despliegue generalizado de Internet de las Cosas tanto a nivel nacional como internacional debe ir de la mano de políticas claras sobre el manejo de la información y de la seguridad de la misma, para generar un ambiente de confianza en los usuarios y tener mayor facilidad de adopción y utilización en los países debido a que esta es la principal preocupación mostrada por las personas para el uso de este tipo de tecnologías.

El Internet de las Cosas tiene variados campos de aplicación en los que se pueden trabajar para el fortalecimiento de las locomotoras del país para las próximas décadas, tanto en desarrollo tecnológico como en aspectos sociales, por esto son importantes las iniciativas de desarrollo como la presentada por Colciencias entorno a este tema.

En Colombia la masificación de Internet a través del plan VIVE DIGITAL del Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ayuda a la apropiación de este servicio por parte de la gente lo que facilita la adaptación a nuevas aplicaciones y servicios que traerá el Internet de las Cosas para las personas y empresas.

La infraestructura de los prestadores de servicios de telecomunicaciones en el país cuenta con la capacidad de soportar el tráfico generado por las primeras etapas del Internet de las Cosas, pero es importante ir aumentando esta capacidad para soportar aplicaciones que cada vez serán más robustas y necesitaran mayor ancho de banda.

Con el despliegue del protocolo IPv6 que se está desarrollando en el país y en el mundo se tiene la posibilidad de garantizar la asignación de direcciones IP al gran número de dispositivos que se prevé tendrán conexión e interactuaran en el Internet de las Cosas en el futuro cercano.

5.2 Trabajos futuros

A partir de este estudio se hizo evidente que en el país hay muchas oportunidades de investigación y negocios aplicados al Internet de las Cosas, por lo que generar aplicaciones para dispositivos móviles se hace un campo interesante por explorar a nivel comercial, además de la creación y diseño de dispositivos terminales con sensores integrados para el Internet de las Cosas, en la parte de investigación es importante y un interés personal la implementación de redes de este tipo para comprobar aspectos de seguridad, de robustez del sistema, transmisión de datos entre otros, por esto para un desarrollo futuro si es posible en la tesis de doctorado se intentará diseñar e implementar una red de este tipo y generar aplicaciones que mejoren la calidad de vida y ayuden a mitigar el impacto ambiental en Colombia.

Otro proyecto macro que sale del desarrollo de esta tesis y participación en eventos científicos en este tiempo es el diseño e implementación de una ciudad inteligente en parámetros TIC, manejo de tráfico, generación de energía entre otros a partir del uso de la información en plataformas de Internet.

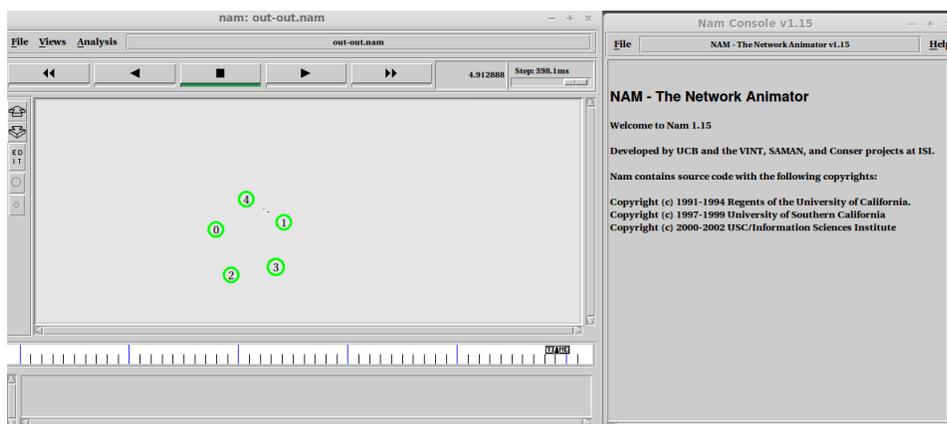
A. ANEXO: INSTALACIÓN Y ENTORNO DE SIMULACIÓN

NS-2

Para utilizar NS-2 es necesario instalar alguna de las distribuciones del sistema operativo Linux o en Windows instalar un emulador llamado Cygwin el cual sirve para tener un comportamiento similar al de los sistemas UNIX, la opción seleccionada fue instalar el sistema operativo Linux MINT por medio de una máquina virtual e instalar NS-2, con la consola de comandos de Linux a través del comando “sudo apt-get install ns2”, NS-2 no cuenta con un entorno gráfico consultando diferentes fuentes se encuentra un programa llamado NAM (The Network Animator) el cual con los archivos tcl puede generar la simulación gráfica de los nodos, sus movimientos y el envío de los paquetes de información, esta herramienta es muy útil para identificar si la simulación está realizando lo deseado o por el contrario está presentando errores inesperados.

En la Figura A-1 se muestra el programa NAM mostrando la configuración de una red generada a partir de un archivo TCL, que consta de cinco nodos inalámbricos enumerados del 0 al 4, entre los cuales se realiza envío de paquetes.

Figura A-1. Entorno gráfico NAM



▪ Creación del archivo de simulación

Como ya se mencionó anteriormente las simulaciones se realizan utilizando archivos de extensión TCL la cual tiene soporte para objetos OTCL, TCL es un lenguaje interpretado por lo que el archivo consiste en ordenes TCL que son interpretadas en el tiempo de ejecución.

A continuación se describen de manera más detallada los comandos más importantes que fueron utilizados en la simulación dentro del archivo OTCL las simulaciones se realizaron con un tiempo de simulación de 120 segundos (2minutos) con diferentes escenarios en los que se variaba la velocidad de los nodos, la cantidad de nodos y el tamaño del mapa

Al realizar la simulación esta entrega dos tipos de archivos de salida, el primero en este caso salida.tr el nombre salida fue seleccionado en el script y el .tr es la extensión del archivo y el segundo archivo es nsalida.nam, donde al igual que en el anterior salida es el nombre y .nam la extensión que genera el programa, este es utilizado para obtener una simulación gráfica como se mencionó anteriormente, a continuación se muestra un extracto del archivo nsalida.nam en el que se crean los nodos en sus posiciones iniciales en el Network Animator, este archivo fue el generado para el escenario 3:

```
n -t * -s 0 -x 1306.6522672268729 -y 381.51744849878099 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 1 -x 766.62919471479802 -y 412.37373523733999 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 2 -x 528.37896633493403 -y 236.719541353561 -z 0
-z 50 -v circle -c black
n -t * -s 3 -x 1263.171715368451 -y 352.12118915310299 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 4 -x 754.18595412528998 -y 212.01440060953499 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 5 -x 762.86031014168304 -y 185.32600182755999 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 6 -x 1493.9731773795611 -y 229.42171406925601 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 7 -x 1525.1835947013899 -y 518.45448274131195 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 8 -x 753.26178890616904 -y 129.75313323285701 -z
0 -z 50 -v circle -c black
n -t * -s 9 -x 281.23204691714301 -y 98.289740561569999 -z
0 -z 50 -v
```

A continuación se muestra un extracto del archivo .tr por ser el de mayor interés para el análisis y en la Tabla A-1 una descripción de los diferentes campos que este tipo de archivo

puede tener y que basados en esta información se realiza el script en awk para el análisis de la información.

```

r -t 13.092860278 -Hs 50 -Hd 50 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00
-Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 13a -Md 32 -Ms 0 -
Mt 800 -Is 13.0 -Id 50.13 -It tcp -Il 80 -If 1 -Ii 51 -Iv 31
-Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 2 -Po 0
s -t 13.092860278 -Hs 50 -Hd -2 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00
-Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt
0 -Is 50.13 -Id 13.0 -It ack -Il 40 -If 1 -Ii 153 -Iv 32 -Pn
tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
r -t 13.092860278 -Hs 50 -Hd -2 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00
-Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt
0 -Is 50.13 -Id 13.0 -It ack -Il 40 -If 1 -Ii 153 -Iv 32 -Pn
tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
s -t 13.092860278 -Hs 50 -Hd 0 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00 -
Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0
-Is 50.13 -Id 13.0 -It ack -Il 60 -If 1 -Ii 153 -Iv 32 -Pn
tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
r -t 13.093149654 -Hs 0 -Hd -2 -Ni 0 -Nx 398.68 -Ny 200.44 -
Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0
s -t 13.093759278 -Hs 50 -Hd -2 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00
-Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 346 -Md 0 -Ms 32 -
Mt 0
r -t 13.094111654 -Hs 0 -Hd -2 -Ni 0 -Nx 398.68 -Ny 200.44 -
Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 346 -Md 0 -Ms 32 -
Mt 0
s -t 13.094121654 -Hs 0 -Hd -2 -Ni 0 -Nx 398.68 -Ny 200.44 -
Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 20c -Md 32 -Ms 0 -
Mt 0
r -t 13.094426030 -Hs 50 -Hd -2 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00
-Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 20c -Md 32 -Ms 0 -
Mt 0
s -t 13.094436030 -Hs 50 -Hd 0 -Ni 50 -Nx 500.00 -Ny 250.00 -
Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 13a -Md 0 -Ms 32 -
Mt 800 -Is 50.13 -Id 13.0 -It ack -Il 118 -If 1 -Ii 153 -Iv
32 -Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
r -t 13.094635926 -Hs 0 -Hd 0 -Ni 0 -Nx 398.68 -Ny 200.44 -Nz
0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 13a -Md 0 -Ms 32 -Mt
800 -Is 50.13 -Id 13.0 -It ack -Il 60 -If 1 -Ii 153 -Iv 32 -
Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 1 -Po 0
s -t 13.094645926 -Hs 0 -Hd -2 -Ni 0 -Nx 398.68 -Ny 200.44 -
Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl MAC -Nw --- -Ma 0 -Md 32 -Ms 0 -Mt
0
r -t 13.094660926 -Hs 0 -Hd 0 -Ni 0 -Nx 398.68 -Ny 200.44 -Nz
0.00 -Ne -1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 13a -Md 0 -Ms 32 -Mt
800 -Is 50.13 -Id 13.0 -It ack -Il 60 -If 1 -Ii 153 -Iv 32 -
Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 1 -Po 0

```

Tabla A-1. Campos del archivo .tr

Tipo de evento	Columna 1	r = recibe, s = envío, f = retransmisión, D = pérdida
	-t	Tiempo
	-Hs -Hd	Id para este nodo Id para el siguiente nodo
Etiquetas con información de los nodos	-Ni: -Nx: -Ny: -Nz: -Ne: -NI: -Nw:	Identificación del nodo. Coordenada X del nodo. Coordenada Y del nodo. Coordenada Z del nodo. Nivel de energía del nodo. Nivel de traza. (AGT, RTR, MAC) Razón de pérdida del paquete “END” Fin de simulación “COL” Colisión “DUP” Duplicado “ERR” Error “RET” Cuenta de entrada excedida “STA” Estado invalido “BSY” Ocupado “NRTE” No hay ruta disponible “LOOP” Hay un lazo de ruta “TTL” Tiempo de vida cero. “TOUT” El paquete expiró. “CBK” Llamada de regreso a MAC. “IFQ” Cola llena. “ARP” Pérdida por ARP. “OUT” Pérdida por estación base.
Información a nivel MAC	-Ma -Md -Ms -Mt	Duración Dirección Ethernet del destino Dirección Ethernet del origen Tipo

Información a nivel IP	-Is	Dirección de origen (número del puerto)
	-Id	Dirección de destino (número del puerto)
	-It	
	-Ii	Tipo de paquete
	-If	Tamaño del paquete
	-Ij	Identificación del flujo
	-Iv	Identificación del paquete Valor de TTL
Información a nivel de aplicación	-Pi	Número de secuencia
	-Pf	Número de veces de retransmisión
	-Po	Número óptimo de retransmisión

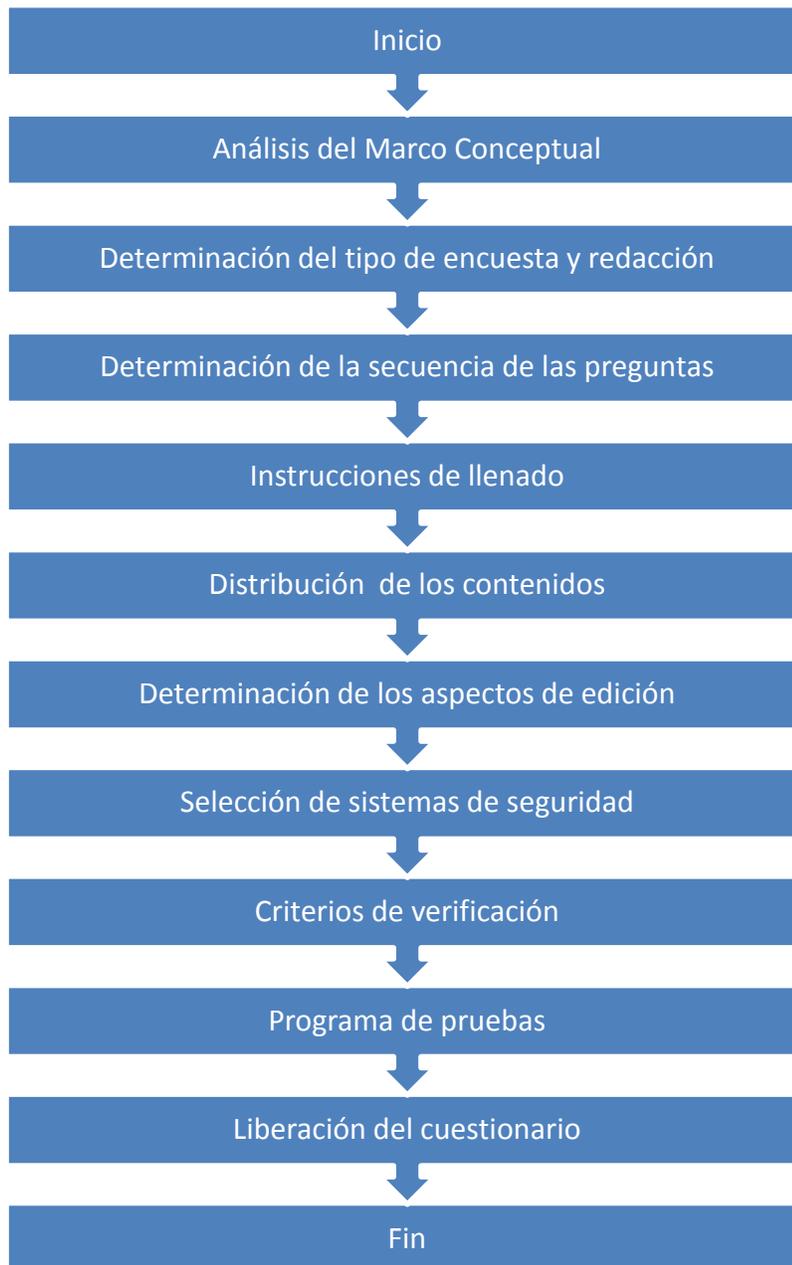
Tabla A-1 (Continuación)

B. Anexo: Diseño de la encuesta.

En la Figura B-1 se muestra el diagrama planteado por la INEGI para estructurar el desarrollo de la encuesta planteada anteriormente y a continuación se desarrollan los aspectos reflejados en ese esquema además de un diseño estadístico necesario para otorgarle mayor confiabilidad al estudio.

Marco Conceptual

En esta sección se va a determinar la forma para presentar los temas, los objetivos de la encuesta, población objetivo, cobertura, categorías y variables para lograr captar los datos de manera correcta sin alterar el significado de los mismos, los indicadores que se van a medir es conocimiento de tecnologías similares al Internet de las Cosas, confianza en este tipo de tecnología en especial en términos de seguridad de información y la idea de inversión de dinero en aplicaciones basadas en Internet de las Cosas, todo esto se realiza con base al modelo INEGI de la Figura B-1.

Figura B-1 Diagrama del proceso general del diseño de encuestas. Adaptado de: [67].

Objetivos

Para el desarrollo de la encuesta se plantean unos objetivos para cumplir con el cuestionario que se va a realizar y que aporte al desarrollo de la investigación, los objetivos planteados son los siguientes:

Objetivo General

Realizar análisis sobre nivel de conocimiento de Internet de las Cosas por parte de la población colombiana y el impacto económico que el despliegue del IoT tendrá en el país.

▪ Objetivos Específicos

- Generar estadísticas sobre el conocimiento del IoT de la población colombiana.
- Crear estadísticas sobre el impacto económico del despliegue del IoT en Colombia.
- Realizar la comparación de niveles de formación con el conocimiento de este tipo de tecnologías.

Diseño Estadístico

▪ Población Objetivo

La población objetivo son los ciudadanos del país de los diferentes estratos socio económicos y niveles de formación para generar una comparación entre la relación de los diferentes indicadores con el nivel educativo y económico de las personas.

▪ Cobertura Y Desagregación Geográfica

La cobertura geográfica de la Encuesta sobre adopción del Internet de las cosas en Colombia está enmarcada dentro del nivel nacional.

▪ Unidades Estadísticas

Unidad de observación: los pobladores de Colombia es la unidad de observación a la que se refieren los datos solicitados por la Encuesta sobre adopción del Internet de las Cosas en Colombia.

Unidad de análisis: Personas a las que puede influir la adopción del Internet de las cosas en el país.

Unidad de muestreo: Personas a las que puede influir la adopción del Internet de las cosas en el país.

▪ **Determinación Del Perfil Del Informante Adecuado**

En general cuando se diseñan las encuestas se enfocan a una población con características específicas se realizan las preguntas resolviendo problemas como entendimiento, molestia o desconfianza que estas puedan generar en los encuestados, en este caso la idea es llegar a un público muy general sobre el cual no se pueden precisar muchas características específicas las preguntas en lo posible se desarrollaran en un lenguaje de entendimiento general para obtener los mejores resultados posibles. Además de esto el análisis de los resultados se realizará a partir de una información general que se le preguntará al encuestado para poder conocer condiciones y características que pueden ser de interés para tener un mejor contexto de los resultados obtenidos, la información general se mostrara más adelante en el desarrollo de la investigación.

▪ **Determinación Del Tipo De Entrevista**

El tipo de entrevista se enmarca de tres modalidades: con participación del entrevistador, contacto con el informante y grado de asistencia computacional, las combinaciones posibles y válidas de estas modalidades, van a definir que modalidad de la entrevista para recolectar datos, se puede implementar en esas tareas en cualquier proyecto estadístico, estas combinaciones se observan en la Figura B-2. [67]

Figura B-2. Modalidad de captación de datos [67]

	Alta Participación del Entrevistador		Baja Participación del Entrevistador	
	Papel	Computadora (CAI)	Papel	Computadora (CAI)
Contacto Directo con el informante	Cara a cara (PAPI)	CAPI, CAPIRC* CAPICC*	Diario	CASI, ACASI, T-ACASI
Contacto Indirecto con el Informante	Teléfono (PAPI)	CATI	Correo, fax, correo electrónico	TDE, correo electrónico Red, DBM, EMS, VRE
Sin Contacto con el Informante	Observación directa	CADE	Registros administrativos	EDI

En el caso de la encuesta que se va a desarrollar en el marco del proyecto se utilizará la modalidad de captación CADE (Entrada de datos asistida por computador), por lo que es necesario generar un entorno de ayuda para la resolución de las preguntas.

- **Determinación del tipo de pregunta y su redacción**

Tipos De Preguntas

La forma más común y usada de clasificar el tipo de preguntas es según la modalidad de la respuesta en esta clasificación se encuentran preguntas abiertas, preguntas cerradas con respuesta de selección única o selección múltiple, otro modo de clasificar las preguntas según su función en las que resaltan preguntas de identificación, preguntas de análisis temático y preguntas de control.

En el desarrollo de la encuesta se clasificaran las preguntas según su función utilizando internamente preguntas con respuesta abierta y cerrada para este fin, para esto se definirá primero la función de cada tipo de pregunta, las preguntas de identificación permiten detectar las características de interés del encuestado, se puede utilizar para determinar el perfil del encuestado o simplemente un evento que se quiere investigar, las preguntas del análisis temático son como tal las preguntas más importantes porque son con las que se logran cumplir los objetivos del proyecto y por último las preguntas de control son preguntas de tipo operativo que facilitan la captación de los datos de interés.

La encuesta con todos los aspectos que se reflejan en esta sección se muestra en el al final de este anexo.

- **Instrucciones De Llenado**

En la encuesta se establecieron instrucciones generales, para un grupo de preguntas similares y en algunas preguntas específicas, estas instrucciones son para dar claridad en algunas preguntas o del cuestionario en general, con un texto breve explicativo o con ejemplos que clarifican como resolver las preguntas, las diferentes instrucciones de llenado se encuentra al final del anexo junto con las preguntas de la encuesta.

- **Distribución De Contenidos**

La distribución de contenidos busca que el encuestado pueda hacer el llenado de la encuesta de manera fácil y ágil, en la encuesta sobre la adopción del Internet de las Cosas en Colombia la distribución se realizó buscando tener una relación entre las preguntas para que sea más fácil para el encuestado dar respuesta a las diferentes preguntas, esto se ve reflejado en la organización presentada al final de este anexo donde se encuentra la encuesta.

▪ **Programa De Pruebas**

Se realizó la aplicación de la encuesta a una población de 30 personas la que sirvió también para el diseño del tamaño de muestra y recibir retroalimentación por parte de los encuestados sobre el cuestionario y proseguir a realizar la liberación de manera más generalizada del mismo.

Los demás aspectos necesarios para la generación del cuestionario que se muestran en el esquema de la de la INEGI se ven reflejados en la encuesta que se encuentra en el este anexo, no se describen paso a paso por ser cuestiones de forma de la encuesta y no aportan al análisis de los resultados, la liberación del cuestionario se realizó por medio de una página web que permite el análisis y almacenamiento de los resultados por medio de Excel Online lo que facilita el tratamiento de la información obtenida de la encuesta, en la Figura B-3, Figura B-4 y Figura B-5 se observan las características finales de la encuesta, ya en su versión online y a continuación se describen brevemente cada sección de la encuesta:

La primera sección de la encuesta es la información básica que da el contexto de la persona que está llenando la encuesta y se muestra en la Figura B-3.

Figura B-3. Información básica de la encuesta

1. INFORMACIÓN BÁSICA

1.1 Ubicación geográfica *

Selecciona URBANA si reside en algunas ciudad de lo contrario RURAL.

1.2 Género *

1.3 Edad *

Selecciona el rango en el cuál esta tu edad.

1.4 Nivel educativo *

Selecciona tu último nivel académico alcanzado o el que te encuentras cursando en la actualidad

1.5 Ocupación

1.6 Estrato del hogar *

Para el estrato tener en cuenta el mostrado en el recibo de la luz.

1.7 Utiliza Internet habitualmente *

1.8 Velocidad del Internet contratado en la casa.

Continuar »

La segunda parte de la encuesta da una mirada general a algunas tecnologías inherente al Internet de las cosas que es posible que muchas personas desconozcan la relación con el IoT pero si conocen de su utilidad y en muchos casos hacen uso de ellas, esta sección se llamó tecnologías del Internet de las Cosas y se muestra en la Figura B-4.

Figura B-4. Sección: Tecnologías del Internet de las Cosas encuesta.

2. TECNOLOGÍAS DEL INTERNET DE LAS COSAS

2.1 ¿Posee celular inteligente? *

2.2 ¿Utiliza aplicaciones para el control del ejercicio físico o signos vitales? *

2.3 Le gustaría que los datos de su estado físico y de salud fueran monitorizados por un médico directamente desde la aplicación. *

Elegir NA sino conoce aplicaciones de este tipo.

2.4 En la vida cotidiana cree que hay cosas que se deberían hacer de forma automática sin tener intervención humana. *

Tener el café listo a una hora exacta, el carro se maneje solo, las luces de la casa se prendan solas, etc

2.5 Enuncie algunos cosas que piensa que se debería hacer de forma automática.

2.6 Le gustaría que el tráfico vehicular de su ciudad fuera controlado de manera automática, reduciendo los trancones con semáforos inteligentes. *

2.7 ¿Piensa que la información de usuario en el Internet actual tiene buena seguridad? *

« Atrás Continuar »

En la tercera y última parte de la encuesta se hace un mayor énfasis en las diferentes tecnologías del Internet de las Cosas y su posible utilidad en la vida cotidiana y comercial de las personas y se ejemplifica algunas de las principales aplicaciones que tiene el Internet de las Cosas para darle un contexto al encuestado para el llenado, esta sección se muestra en Figura B-5.

Figura B-5. Sección: Conocimiento del Internet de las Cosas de la encuesta.

3. CONOCIMIENTO DE INTERNET DE LAS COSAS

Algunos elementos como el control del tráfico de carros, manejo de información médica en línea por parte de los médicos, son una pequeña parte del Internet de las Cosas, pero las aplicaciones abordan todos los sistemas en los que se puedan medir variables y usar esa información para generar alertas o realizar acciones de forma autónoma por parte de los objetos conectados a Internet.

3.1 ¿Ha escuchado hablar sobre el Internet de las Cosas? *

3.2 ¿Cree que es posible conseguir construir ciudades inteligentes? *

Una ciudad inteligente es en la que diferentes aspectos se controlan y manejan de manera autónoma, por ejemplo el prendido y apagado del alumbrado público, el cambio del semáforo dependiendo de la cantidad de carros, etc.

3.3 ¿Aplicaciones financieras en las que se pueden manejar los diferentes datos bancarios le parecen confiables? *

3.4 ¿Estaría dispuesto a tener almacenada información sobre las actividades diarias con el respaldo de la seguridad de nuevas tecnologías? *

3.5 ¿En cuánto tiempo cree que llegarán este tipo de tecnologías al país? *

3.6 ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la automatización de tareas de su vida cotidiana? *

3.7 ¿Cree que este tipo de tecnologías potenciaran su negocio actual o traerán nuevas oportunidades de negocio en diferentes niveles económicos?

Comentarios que considere pertinente adicionar a la encuesta

Correo Electrónico *

GRACIAS POR SU TIEMPO

Cualquier información adicional sobre el tema pueden contactarnos en el correo lcluisq@unal.edu.co.

[« Atrás](#)

[Enviar](#)

Bibliografía

- [1] B. M. Leiner, V. G. Cerf, D. D. Clark, R. E. Kahn, L. Kleinrock, D. C. Lynch, J. Postel, L. G. Roberts y S. Wolff, «Internet Society,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.internetsociety.org/es/breve-historia-de-internet?gclid=CKT4rrXm4r0CFe9QOgodal8AZA>. [Último acceso: 7 2 2014].
- [2] Kleinrock, «An early history of the Internet,» 2010.
- [3] L. C. Luis y J. E. Ortiz, «Tecnologías involucradas en el Internet del Futuro,» *Revista Vinculos*, nº 17, pp. 115-127, 2013.
- [4] F. A., «Internet Clean-Slate Design: What and Why?,» 2007.
- [5] L. M. Dae Young Kim, «Future Internet: Chalenges in Virtualization and Federation,» 2009.
- [6] CORDIS, «Community Research and Development Information Services (CORDIS),» 03 04 2014. [En línea]. Available: http://cordis.europa.eu/fp7/ict/ssai/home_en.html. [Último acceso: 7 4 2014].
- [7] Y.-W. K. Myung-Ki S., «New Challenges on Future Network and Standardization.,» 2008.
- [8] J. E. Ortiz, J. Bobadilla y M. Saumett, «Simulación y evaluación de redes ad hoc bajo diferentes modelos de movilidad,» *Ingeniería e investigación*, pp. 44-50, 2003.
- [9] A. González y A. Núñez, *Diseño de un simulador de redes de sensores*, 2009.
- [10] J. P. Hernández y D. Márquez, *Monografía: Redes Ad Hoc*, 2006.
- [11] Z. Huang, R. Yamamoto y Y. Tanaka, «A Multipath Energy-Efficient Probability Routing Protocol in Ad Hoc Networks,» *ICACT2014*, pp. 244-250, 2014.
- [12] K. Modani y K. Adhishek., «Adaptivity of arod routing protocol in sparse and dense Ad-hoc networks,» *IEEE COMPUTER SOCIETY*, pp. 107-112, 2011.

- [13] V. J. Roselló, MODELADO PARA SIMULACIÓN DE REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS PREDESPLIEGUE BASADO EN VISUALSENSE, Madrid, 2009.
- [14] Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU, «Ubiquitous Sensor Network (USN),» 2008.
- [15] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment,» 2010.
- [16] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, Recomendación UIT-T Y.2001: Visión general de las redes de próxima, 2004.
- [17] S. Hualde, «NUEVOS MODELOS, OPORTUNIDADES QUE OFRECEN LAS TIC Y DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL FUTURO,» 2007.
- [18] OEA, «Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, convergencia de servicios y redes.,» Octubre 2009. [En línea]. Available: http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2009/octubre/convergencia_e.asp. [Último acceso: 15 Febrero 2014].
- [19] R. H. Webber, «Internet of things – Need for a new legal environment?,» pp. 522-527, 2009.
- [20] L. Yunhao, «From pervasive computing, CPS to the Internet of things: next generation Internet vision[J] Communications of the CCF,» pp. 66-69, 2009.
- [21] J. L. F. L. L. C. Haitao Pu, «An Intelligent Interaction System Architecture of the Internet of Things Based on context».
- [22] M. Weiser, «The Computer for the 21st Century,» pp. 94-104, 1991.
- [23] G. Santucci, «From Internet of Data to Internet of Things,» de *International Conference on Future Trends of the Internet*, 2009.
- [24] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things – Executive Summary,» 2005.
- [25] V. CERF, «La próxima Internet la red de las cosas,» *Revista Colombiana de Telecomunicaciones*, pp. 36-38, 2009.

- [26] J. S. A. A. Juan Gascón, «Internet del Futuro: La convergencia como factor clave para la evolución tecnológica,» *Revista Colombiana de Telecomunicaciones*, pp. 32-35, 2009.
- [27] Y. C. Tongrang Fan, «A Scheme Of Data Management In The Internet Of Things,» 2010.
- [28] G. L. Yinghui Huang, «A Semantic Analysis for Internet of Things,» pp. 336-339, 2010.
- [29] A. d. Saint-Exupery, «Internet of Things: Strategic Research Roadmap,» 2009.
- [30] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Internet de los Objetos,» [En línea]. Available: <http://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2005&issue=09&ipage=things&ext=html>. [Último acceso: 20 2 2014].
- [31] D. H. H. F. Kai Zhang, «Research on the complexity in Internet of Things,» *AIAI*, 2010.
- [32] T.-I. L. F.-Y. L. I. S. H.-Y. D. Miao Wu, «Research on the architecture of Internet of things,» *ICACTE*, 2010.
- [33] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, «Recomendación Y.2060: Visión general del Internet de las Cosas,» 2012.
- [34] G. H. Bo Yan, «Application of RFID and Internet of Things in Monitoring and Anti-counterfeiting for products,» *IEEE*, 2008.
- [35] N. W. Lu Tan, «Future Internet: The Internet of Things,» *IEEE*, 2010.
- [36] Unión Internacion de Telecomunicaciones UIT, «Ubiquitous Network Societies and their impact on the telecommunication industry,» 2005.
- [37] B. Y. Miao Yun, «Research on the Architecture and Key Technology of Internet of Things (IoT) Applied on Smart Grid,» *IEEE*, 2010.
- [38] S. Perez, «Mobile Phones Will Serve as Central Hub to "Internet of Things",» 2011. [En línea]. Available: <http://www.readwriteweb.com/mobile/2011/02/mobile-phones-will-serve-as-hubs-to-internet-of-things.php>. [Último acceso: 21 Abril 2012].
- [39] G. C. C. J. López Eva, «El Internet de las Cosas: En un mundo conectado de objetos inteligentes,» 2011.

- [40] P. S. B. L. Lianhong Ding, «The Clustering of Internet, Internet of Things and Social Network,» *IEEE*, 2010.
- [41] LIBELIUM, «50 Sensor Applications for a Smarter World,» 2014.
- [42] LIBELIUM, «Libelium Smart World,» [En línea]. Available: http://www.libelium.com/es/top_50_iiot_sensor_applications_ranking/#show_infographic. [Último acceso: 10 5 2014].
- [43] MINTIC, «VIVE DIGITAL,» [En línea]. Available: <http://www.vivedigital.gov.co/logros/>. [Último acceso: 1 Marzo 2014].
- [44] MINTIC, «Ministerio de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones,» 31 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-propertyvalue-648.html>. [Último acceso: 1 Marzo 2014].
- [45] MINTIC, «Boletín trimestral de las TIC: Cifras segundo trimestre 2014,» Bogotá D.C, 2014.
- [46] IANA, «IANA,» [En línea]. Available: <https://www.iana.org/numbers>. [Último acceso: 7 4 2014].
- [47] S. Deering y R. Hinden, «The Internet Engineering Task Force (IETF),» [En línea]. Available: <http://tools.ietf.org/html/rfc2460>. [Último acceso: 7 4 2014].
- [48] L. S. C. R. Kuhn. R., «Internet Protocol Version 6.,» 2008.
- [49] MINTIC, «CALIDAD CELULAR,» [En línea]. Available: <http://calidadcelular.co/>. [Último acceso: 6 4 2014].
- [50] G.-Q. Zhang, G.-Q. Zhang, Q.-F. Yang, S.-Q. Cheng y T. Zhou, «Evolution of the Internet and its cores,» *New Journal of Physics*, nº 10, p. 11, 2008.
- [51] CISCO IBSG, «Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución lo cambia todo,» CISCO, 2011.
- [52] Hewlett Packard, «Hewlett Packard,» [En línea]. Available: <http://www8.hp.com/us/en/hp-information/environment/cense.html>. [Último acceso: 10 5 2014].
- [53] P. González y R. Cerezo, Estudio del simulador de redes vehiculares VEINS, Madrid, 2012.

-
- [54] NS-3 Project, NS-3 Manual. Release ns-3.19, 2014.
- [55] DANE, «ENCUESTA NACIONAL DE CALIDAD DE VIDA 2013: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS,» DANE, 2014.
- [56] DANE, «INDICADORES BÁSICOS DE TENENCIA Y USO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN HOGARES Y PERSONAS DE 5 MÁS AÑOS DE EDAD,» DANE, Bogotá, 2014.
- [57] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Individuals_Internet_2000-2013,» 2014.
- [58] comScore, «Futuro Digital Colombia 2013,» 2013.
- [59] Cámara Colombiana de Comercio Electrónica, «Informe Cámara Colombiana de Comercio Electrónico,» 2014.
- [60] Colciencias, «Colciencias y MinTIC crearán centros para “internet de las cosas”,» Colciencias, 5 11 2014. [En línea]. Available: <http://www.colciencias.gov.co/noticias/colciencias-y-mintic-crear-n-centros-para-internet-de-las-cosas>. [Último acceso: 2014 11 9].
- [61] Colciencias, «Convocatoria para conformar centros de excelencia y apropiación en Internet de las Cosas (IoT) - 2014,» Bogotá, 2014.
- [62] MinTIC, «Plan Vive Digital,» 1 1 2015. [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-channel.html>. [Último acceso: 25 7 2015].
- [63] DANE, Plan Estratégico Nacional de Estadísticas, 2009.
- [64] DANE, Metodología: Aseguramiento de la Calidad de la Información Estadística, 2011.
- [65] D. Ospina Botero, Introducción al muestreo, Bogotá: UNIBIBLOS, 2001.
- [66] DANE, «ENCUESTA NACIONAL DE CALIDAD DE VIDA 2013 (ECV),» Bogotá, 2014.
- [67] Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, Diseño de Cuestionarios, 2013.