



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACION:
EVALUACIÓN DE REDES AD HOC CON ANTENAS INTELIGENTES.

Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones

ELABORADO POR:
Ing. Román Isaías Toral Franco

Guayaquil, a los 29 días del mes de Enero del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster Román Isaías Toral Franco como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 29 días del mes de Enero del año 2015

DIRECTOR DE TESIS

MsC. Edwin Palacios Meléndez

REVISORES:

MsC. Néstor Zamora Cedeño.

MsC. Luis Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MsC. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, ROMÁN ISAÍAS TORAL FRANCO

DECLARÓ QUE:

EL Trabajo de Titulación “EVALUACIÓN DE REDES AD HOC CON ANTENAS INTELIGENTES.”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 29 días del mes de Enero del año 2015

EL AUTOR

Ing. Román Isaías Toral Franco



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, ROMÁN ISAÍAS TORAL FRANCO

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: “EVALUACIÓN DE REDES AD HOC CON ANTENAS INTELIGENTES.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 29 días del mes de Enero del año 2015

EL AUTOR

Ing. Román Isaías Toral Franco

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres Jorge y Luz, que con su esfuerzo, dedicación y ejemplo supieron hacer de mí una persona que concluye con éxito sus metas, encontrándose siempre a mi lado y fortaleciendo cada día los valores más nobles del ser humano.

Román Isaías Toral Franco

AGRADECIMIENTO

Hago llegar mi profundo agradecimiento primero a Dios por darme la fortaleza y constancia necesaria para cumplir con mis objetivos propuestos, a mis padres por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo, a la Universidad Católica en especial a la Facultad Técnica para el Desarrollo que mediante sus autoridades y docentes me brindaron una sólida formación durante este tiempo de Maestría para así culminar con éxito una etapa más en la vida académica.

Al Ingeniero Edwin Palacios, Director de Tesis y a quienes me orientaron y guiaron en este proyecto que sella y da cuenta de un testimonio de trabajo, entrega y voluntad; deseo dejar constancia de mi sincero sentimiento de gratitud y amistad.

Román Isaías Toral Franco

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
Resumen	XI
Abstract.....	XII
Capítulo 1: Descripción preliminar del proyecto de grado.....	13
1.1. <i>Justificación</i>	13
1.2. <i>Antecedentes</i>	13
1.3. <i>Definición del problema</i>	14
1.4. <i>Objetivos</i>	14
1.5. <i>Hipótesis</i>	15
1.6. <i>Metodología de investigación</i>	15
Capítulo 2: Estado del Arte de Redes Ad Hoc.	16
2.1. <i>Introducción de Redes Inalámbricas Ad Hoc</i>	16
2.2. <i>¿Qué es una red Ad Hoc?</i>	18
2.3. <i>Aplicaciones típicas de redes Ad Hoc</i>	21
2.4. <i>Red de área personal una ampliación de la red</i>	23
2.5. <i>Características y requisitos de redes Ad Hoc</i>	24
2.6. <i>Funciones típicas de redes Ad Hoc</i>	27
2.6.1. Seguridad	27
2.6.2. Enrutamiento en redes Ad Hoc	30
2.6.3. Funciones de movilidad.....	31
Capítulo 3: Modelado y Evaluación de una Red Ad Hoc	34
3.1. <i>Presunciones en los Modelos de Canales</i>	34
3.2. <i>Simulación de Escenarios de redes de salto simple</i>	35
3.3. <i>Simulación de Escenarios en Redes multisaltos</i>	38
3.3.1. Modelo DSR para nodos mediante enlaces inmediatos (node_dsr_omni).....	38
3.3.2. Modelo XuDSR para nodos de apoyo en enlaces extendidos.	40
3.3.3. Metodología de simulación.....	41
3.3.4. Indicadores de Rendimiento.....	42

3.3.5. Análisis del establecimiento de enlaces extendido.....	43
Conclusiones	54
Referencias Bibliográficas	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Visión de escenarios mediante redes Ad Hoc.	19
Figura 2. 2: Diversas redes WLAN asignadas a dos aspectos de redes Ad Hoc.	20
Figura 2. 3: Escenario PAN con cuatro PAN interconectadas.	23
Figura 2. 4: Red Ad Hoc con tres grupos de confianza separados G1, G2 y G3.	29
Figura 2. 5: Establecimiento de confianza los nodos de G2 hasta A.	29
Figura 2. 6: Nodo G recibe claves públicas firmadas en los nodos A y H. ...	30
Figura 2. 7: Nodo A por la red Ad Hoc con todas las claves firmadas.	30

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelo de nodo para los nodos utilizando el protocolo CTS direccional.....	35
Figura 3. 2: Distribución de nodos en un área de 600m x 600m.....	36
Figura 3. 3: Rendimiento de las redes WLAN para los escenarios A, B, C y D.	37
Figura 3. 4: Rendimiento de WLAN para diferentes escenarios de control de antena.....	38
Figura 3. 5: Modelo del nodo DSR para enlaces inmediatos.	39
Figura 3. 5: Modelo del nodo XuDSR para enlaces extendidos.....	40
Figura 3. 7: Distribución de los nodos en U para el escenario A.....	43
Figura 3. 8: Retardo de extremo a extremo para los paquetes transmitidos desde node_0 a node_1.	44
Figura 3. 9: Totalidad del número de paquetes transmitidos con éxito.	45
Figura 3. 10: Datos transmitidos (número de bytes) con éxito del node_0 al node_1.....	46
Figura 3. 11: Rendimiento de node_1.....	46
Figura 3. 12: Distribución aleatoria de los nodos en la red B.	47

Figura 3. 13: Retardo de extremo a extremo para los nodos de la red B.....	47
Figura 3. 14: Rendimiento del nodo node_1.....	48
Figura 3. 15: Total de datos recibidos (número de bytes) por node_1 del node_0 en la red B.....	49
Figura 3. 16: Total de errores detectados en la red B.....	49
Figura 3. 17: Distribución aleatoria de los nodos en la red C.....	50
Figura 3. 18: Retardo extremo a extremo para el escenario C.	50
Figura 3. 19: Datos recibidos (número de bytes) por node_1 de node_2. ...	51
Figura 3. 20: Rendimiento del nodo node_1.....	51
Figura 3. 21: Retardo para variar el tiempo entre origen y llegada de extremo a extremo.....	52
Figura 3. 22: Efecto de incrementar el rendimiento del tráfico de red de node_1	53
Figura 3. 23: Efecto de tráfico de la red del total de datos recibido correctamente.....	53

Resumen

El presente trabajo de grado pretende modelar, simular y evaluar redes Ad Hoc mediante la plataforma OPNET, logrando así demostrar que no se requieren de equipos sofisticados de alto costo sino de simplemente plantear escenarios que se asemejen a la parte real. Este trabajo consistió en una búsqueda de información de investigaciones realizadas sobre el programa de simulación OPNET.

OPNET permitió modelar las funciones de antenas inteligentes, especialmente las omnidireccionales. En la cual, los resultados obtenidos en relación al rendimiento y de retardo en comunicaciones extremo a extremo mediante enlaces multisaltos resultaron ser mejores que los enlaces de salto único.

Abstract

The present work of degree tries to shape, to simulate and to evaluate Ad hoc networks by means of the platform OPNET, managing this way to demonstrate that they are not needed of sophisticated equipments of high cost but of simply raising scenes that are alike the royal part. This work consisted of a search of information of investigations realized on the OPNET simulation program.

OPNET modeling functions enabled smart antennas, especially omnidirectional . In which, the results obtained in relation to performance and delay in end to end communications through multi-hop links were found to be better than single-hop links

Capítulo 1: Descripción preliminar del proyecto de grado.

1.1. Justificación.

Las Redes Ad Hoc están formadas por un conjunto de nodos inalámbricos sin el apoyo de cualquier infraestructura existente. Los nodos en una red Ad Hoc pueden servir como anfitriones (puntos finales de la comunicación) o como enrutadores de reenvío de paquetes a otros hosts. Tradicionalmente, las redes Ad Hoc han sido conocidas por utilizar antenas omnidireccionales para la transmisión, así como la recepción.

El uso de antenas omnidireccionales puede resultar en una menor eficiencia de energía debido a la interferencia causada por la transmisión de paquetes en direcciones no deseadas. El uso de antenas inteligentes en redes Ad Hoc se prevé aprovechar la división del espacio de acceso múltiple (SDMA) para aumentar la eficiencia de la red por la dirección de la potencia transmitida en la dirección deseada.

Este trabajo de titulación pretende explorar el efecto en relación al uso de antenas inteligentes en redes inalámbricas Ad Hoc. Dado que las redes Ad Hoc utilizan un medio de difusión para la transmisión de paquetes, es importante observar el efecto de las antenas inteligentes como esquemas de control de acceso al medio.

1.2. Antecedentes.

La tendencia actual es utilizar antenas omnidireccionales en redes Ad Hoc. Varios protocolos de control de acceso al medio se han propuesto en el supuesto de que las antenas sean omnidireccionales. Con el desarrollo de antenas inteligentes, la comunidad científica ha mostrado interés en su integración en redes Ad Hoc para darse cuenta de los beneficios de la división del espacio de acceso múltiple.

Si las antenas inteligentes pueden integrarse con éxito en redes inalámbricas, esto resultaría no sólo en un aumento del rendimiento de la red, pero, junto con mecanismos de control de potencia, existiría un significativo ahorro de energía en los transmisores. Además, el uso de antenas inteligentes dirige la energía hacia una dirección deseada, lo que resulta en un aumento de la gama de transmisión de paquetes, reduciendo eficazmente el número de saltos en una red de trayectos de saltos múltiples.

El uso de antenas inteligentes resulta en la formación de tiempo variables enlaces en la red. Esto requiere un estudio completo de los diferentes enlaces posibles y el desarrollo de un mecanismo para establecer esos vínculos.

1.3. Definición del problema

En la actualidad la evaluación de redes inalámbricas mediante el uso de antenas inteligentes requieren de equipos de medición, que por su precio son difíciles de conseguir. Por tal motivo, surge la necesidad de plantear modelos de comunicaciones que permitan evaluar redes Ad Hoc y emular antenas inteligentes a través de la plataforma OPNET Modeler.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Evaluar redes Ad Hoc con antenas inteligentes sobre la plataforma de simulación OPNET Modeler.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir el estado del arte de las redes Ad Hoc.
- ✓ Desarrollar modelos de canales inalámbricos que permita mejorar el rendimiento en la transmisión de datos.

- ✓ Proponer una metodología para especificar la orientación de la antena omnidireccional.
- ✓ Evaluación del desempeño rendimiento de los enlaces extendidos en escenarios típicos.

1.5. Hipótesis

Mediante la simulación de redes Ad Hoc con antenas inteligentes se demostrará la disminución de retardo para enlaces extendidos y enlaces multisaltos.

1.6. Metodología de investigación.

Para el proyecto de grado propuesto, se pretende un tipo de investigación experimental, la misma que permitirá óptimos resultados al momento de evaluar las simulaciones de los diferentes escenarios en redes Ad Hoc.

Esta parte experimental, consiste en probar una serie de escenarios diseñados en OPNET y mediante cambios en el modelado de las redes Ad Hoc se inducen cambios deliberados en una o más de las variables de entrada de un proceso o sistema, lo que permitirá observar, diagnosticar e identificar el rendimiento del tráfico y de retardo de los escenarios propuestos.

Capítulo 2: Estado del Arte de Redes Ad Hoc.

2.1. Introducción de Redes Inalámbricas Ad Hoc.

Hoy en día, muchas personas llevan numerosos dispositivos portátiles, como ordenadores portátiles, teléfonos móviles, PDAs y reproductores de mp3, para su uso en su vida profesional y privada. En su mayor parte, estos dispositivos se utilizan por separado, es decir, sus aplicaciones no interactúan.

Imaginemos, sin embargo, si podían interactuar directamente: los participantes en una reunión podrían compartir documentos o presentaciones; tarjetas de visita se encontrarían automáticamente en su camino mediante el registro de direcciones en un ordenador portátil y el número de registro en un teléfono móvil; mientras los pasajeros salen de un tren, sus computadoras portátiles podrían permanecer en línea; del mismo modo, el correo electrónico entrante ahora podría ser desviado a sus PDA; por último, al entrar en la oficina, toda la comunicación podría automáticamente dirigirse a través de redes inalámbricas de un campus universitario.

La comunicación inalámbrica Ad Hoc entre dispositivos podrían ser definidos vagamente como un esquema, a menudo referida como la creación de redes Ad Hoc, que permite a los dispositivos establecer la comunicación, en cualquier momento y en cualquier lugar sin la ayuda de una infraestructura central.

En realidad, las redes Ad Hoc, como tal, no es nuevo, pero la configuración, el uso y los usuarios si lo son. En el pasado, la noción de redes ad hoc se asociaba a menudo con la comunicación en los campos de combate y en el sitio de una zona de desastre; ahora, con el despliegue de

la tecnología Bluetooth se ha podido materializar, por lo tanto, el escenario de las redes ad hoc probablemente cambie, debido a su gran importancia.

Numerosos factores asociados a la tecnología, los negocios, la regulación y el comportamiento social natural y hablan lógicamente a favor de las redes inalámbricas Ad Hoc. La comunicación inalámbrica de datos móvil, está avanzando tanto en términos de tecnología y el uso/penetración, es una fuerza impulsora, gracias al Internet y el éxito de los sistemas celulares desde 2G hasta 4G.

Al mirar hacia el horizonte, podemos finalmente vislumbrar una visión en las ciencias de la computación y de las comunicaciones verdaderamente ubicua. En un futuro cercano, se espera que el papel y las capacidades de transferencia de datos de corto alcance sigan creciendo, sirviendo como complemento a la comunicación tradicional a gran escala: mayor comunicación hombre-máquina, así como la comunicación oral entre los seres humanos se produce a distancias inferiores a 10 metros.

También, como resultado de esta comunicación, las dos partes que se comunican a menudo tienen necesidad de intercambiar datos. Como factor facilitador, las bandas de frecuencia cuya licencia está exenta, invitan al uso de desarrollar tecnologías de radio (como Bluetooth) que admiten despliegues sin esfuerzo y de bajo costo de las comunicaciones inalámbricas.

En términos de precio, portabilidad y facilidad de uso y en el contexto de una red Ad Hoc, muchos dispositivos informáticos y de comunicación, como PDAs y teléfonos móviles, ya poseen los atributos que son deseables. A medida que avanza en la tecnología continúan, estos atributos serán mejorados aún más.

2.2. ¿Qué es una red Ad Hoc?

Tal vez la noción más extendida de una red móvil Ad Hoc, de acuerdo a Mercado, A., Berríos F., R., & Chan Y., P. (2014) consiste en una red integrada sin necesidad de gestión central, debido a que disponen de varios nodos móviles utilizados como interface inalámbrica permitiendo así la transmisión de paquetes de datos. Puesto que los nodos de una red de este tipo pueden servir como routers y hosts, pueden enviar paquetes a nombre de otros nodos y aplicaciones de usuario de ejecución.

Para Awerbuch, B. & Mishra A. (2008) sostienen que Ad Hoc es una colección de dos o más dispositivos equipados con comunicaciones inalámbricas y con capacidades de red. Mercado, A., et al. (2014) manifiestan que la creación de la topología de las redes Ad Hoc fue a finales del año 1968, pero dicho trabajo inicial fue denominado red ALOHA (principalmente se pretendía conectar dicha red con todas la instituciones de educación en Hawai).

Aunque estaban usándose estaciones fijas, el protocolo ALOHA prestaba la gestión de acceso de canal distribuido y por lo tanto proporcionar una base para el posterior desarrollo de los planes de canal de acceso distribuidos que eran adecuados para la creación de redes Ad Hoc. El protocolo ALOHA según Abramsson, N. (1970) era un protocolo de un solo salto, es decir, que no necesitaba inherentemente de enrutamiento. En vez de cada nodo tenía que estar al alcance de todos los demás nodos participantes.

Inspirado por la red ALOHA y el desarrollo temprano de la conmutación de paquetes de red fija, DARPA comenzó a trabajar, en 1973, en la PRnet (red de radio por paquetes) que era una red multisalto. En este contexto, el salto múltiple significa que los nodos colaboraron en transmitir el tráfico en nombre de entre sí para llegar a las estaciones distantes que de otra manera

habrían estado fuera de su alcance. PRnet proporcionaba mecanismos para la gestión de la operación en el centro, así como de forma descentralizada. Como un beneficio adicional, se dio cuenta de que las técnicas de salto múltiple aumentaron capacidad de la red, ya que el dominio espacial podría ser reutilizado para sesiones concurrentes de múltiples saltos pero físicamente separadas.

Hoy en día, la visión de las redes Ad Hoc incluyen escenarios como el mostrado por la figura 2.1, donde la gente lleva los dispositivos que pueden establecer contactos sobre una base Ad Hoc. De acuerdo a la figura 2.1, en un aeropuerto la gente puede acceder a las redes LAN y WAN, Ad Hoc mediante conexiones bluetooth para interconectar dispositivos, tales como PDAs, teléfonos móviles WCDMA y ordenadores portátiles. Por ejemplo, un usuario podría posiblemente recuperar su correo electrónico a través de una interfaz de HIPERLAN/2 a un ordenador portátil en un maletín, pero para lectura de mensajes y responder a ellos a través de su PDA.

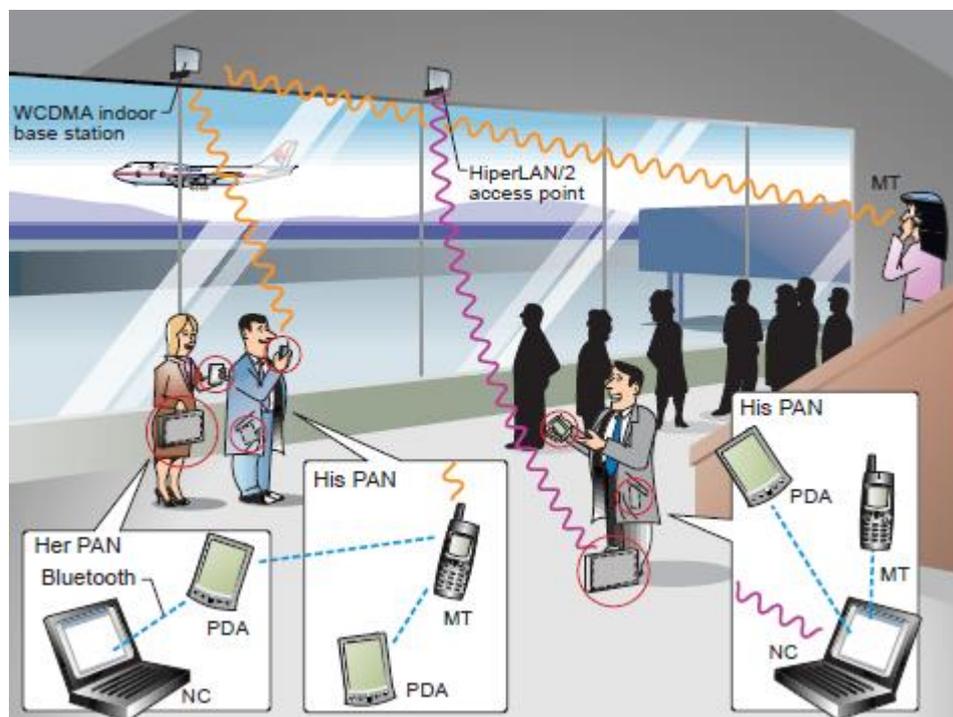


Figura 2. 1: Visión de escenarios mediante redes Ad Hoc.
Fuente: Mercado, A., et al. (2014)

Los dispositivos electrónicos de un usuario pueden tanto interconectarse entre sí y conectarse a puntos de información locales, por ejemplo, para recuperar las actualizaciones en las salidas de vuelos, cambios de puerta, y así sucesivamente. Según Mercado, A., et al. (2014) los dispositivos que están presentes en una red Ad Hoc permiten transmitir paquetes entre los dispositivos dentro y fuera del rango de alcance. Así pues, del ejemplo de la figura 2.1 en el aeropuerto se disponen de accesos mediante saltos únicos y múltiples.

Para poner redes Ad Hoc en su perspectiva correcta, hagamos algunas observaciones acerca de las comunicaciones inalámbricas, comenzando con los sistemas celulares de hoy en día, que dependen en gran medida de la infraestructura, es decir, la cobertura será proporcionada por las estaciones base, los recursos de radio se gestionan desde una ubicación central, y los servicios están integrados en el sistema.

Esto condujo al servicio bueno y predecible de los sistemas celulares actuales. En la figura 2.2 se muestra este aspecto bidimensional que se refiere a la creación de redes Ad Hoc.

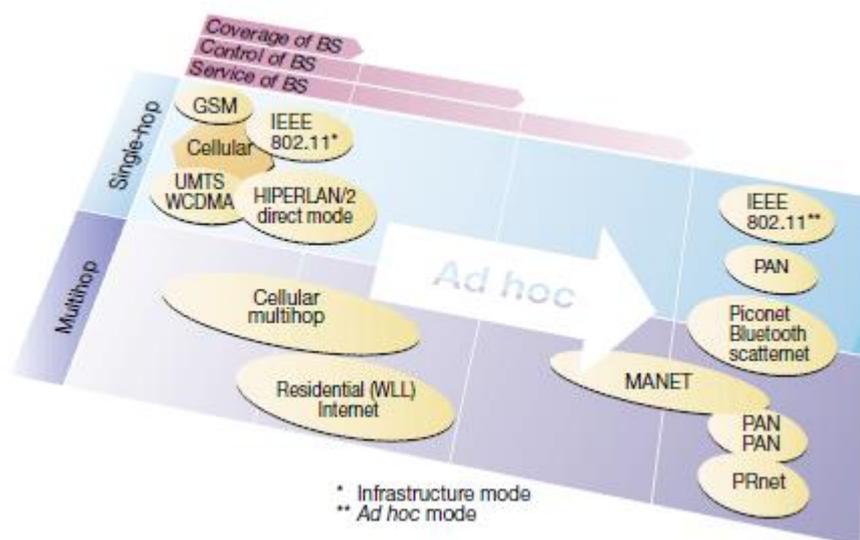


Figura 2. 2: Diversas redes WLAN asignadas a dos aspectos de redes Ad Hoc.

Fuente: Mercado, A., et al. (2014)

Sin haber cedido el control totalmente, pero teniendo en cuenta el modo de comunicación directa en HIPERLAN/2 (véase la figura 2.2), las terminales adyacentes pueden comunicarse directamente entre sí. Por lo tanto, el transporte de tráfico no es totalmente dependiente de la cobertura de los puntos de acceso. Un enfoque similar se aplica a los sistemas comerciales o residenciales Wireless Local Loop (WLL) con acceso de saltos múltiples, concebidos principalmente para el acceso a Internet (ver la figura 2.2 en la parte inferior izquierda y en el centro).

2.3. Aplicaciones típicas de redes Ad Hoc.

Las redes móviles Ad Hoc ha sido el centro de numerosos esfuerzos de investigación y de desarrollo reciente. Según Mercado, A., et al. (2014) las redes Ad Hoc fueron muy utilizadas en aplicaciones militares para la transmisión de paquetes de radio, pero eran configuradas como redes descentralizadas.

Mercado, A., et al. (2014) explica que las redes Ad Hoc aplicadas al sector comercial, no estaban al alcance de los usuarios debido a los altos costos de los equipos para acceder a redes inalámbricas y laptops (ordenadores móviles). Aunque, la capacidad de los dispositivos electrónicos móviles crece uniformemente, por lo que surge la necesidad de establecer redes ilimitadas aumenten. En la actualidad, estas redes Ad Hoc en centros comerciales son utilizados en situaciones en las que los usuarios no disponen de servicios de telefonía celular.

Algunos ejemplos incluyen operaciones de rescate en zonas remotas, o cuando la cobertura local debe desplegarse rápidamente en una obra de construcción a distancia. La red Ad Hoc también podría servir de acceso público inalámbrico en las zonas urbanas, en una implantación rápida y una cobertura extendida. Los puntos de acceso de redes de este tipo podrían

servir como estaciones repetidoras de radio estacionarias que realicen encaminamiento Ad Hoc entre ellos y entre los nodos de usuario. Algunos de los puntos de acceso también proporcionarían pasarelas a través de la cual los usuarios pueden conectarse a una red troncal fija.

Mercado, A., et al. (2014) sostiene que las redes locales Ad Hoc permiten difundir y compartir datos mediante enlaces con dispositivos electrónicos (laptops, tablets y teléfonos inteligentes), por ejemplo, compartir datos en un congreso o conferencia. Aunque, también son muy apropiados para aplicaciones de redes Ad Hoc domésticas en la que los dispositivos permiten una comunicación directa logrando así compartir información, tales como audio/video, alarmas y cambios de configuración.

Aunque en otro contexto diferente a redes conocidas, tenemos una de mayor alcance, las redes que permiten interconexiones autónomas con robots domésticos para realizar limpieza, lavar platos, cortar césped, llevar a cabo la vigilancia de seguridad, y así sucesivamente. Algunas personas incluso han propuesto redes Ad Hoc de saltos múltiples (denotados por redes de sensores), por ejemplo, para la vigilancia del medio ambiente, en la cual servirían para pronosticar la contaminación del agua o para proporcionar una alerta temprana de que se aproxima un desastre natural, por ejemplo, tsunami.

Para redes Ad Hoc de corto alcance, Mercado, A., et al. (2014) sostiene que facilitan la interconexión con diversos dispositivos electrónicos móviles (tales como teléfonos inteligentes, tablets, etc.) mediante la formación de una red de área personal (*Personal Area Network, PAN*), y de ese modo eliminar la necesidad tediosa de tener cables. Esto también podría extender la movilidad proporcionada por la red fija (es decir, IP móvil) a los nodos más lejanos en un dominio de red Ad Hoc.

2.4. Red de área personal una ampliación de la red.

Visto desde el punto de vista de una red móvil tradicional, una PAN basada en Bluetooth abre una nueva forma de extender las redes móviles en el dominio del usuario. Una persona en un viaje que tiene acceso a una PAN Bluetooth podría utilizar telefonía móvil UMTS como puerta de entrada a Internet o a una red IP corporativa. En cuanto a la carga de tráfico en la red, el tráfico agregado de la PAN típicamente es superior al de la telefonía móvil.

En la figura 2.3 se muestra un escenario en el que se utilizan cuatro PAN Bluetooth. Las PAN están interconectadas a través de computadoras portátiles mediante conexiones Bluetooth. Además, dos de las PAN están conectados a una red troncal IP, una a través de un punto de acceso LAN y el otro a través de un teléfono móvil UMTS.

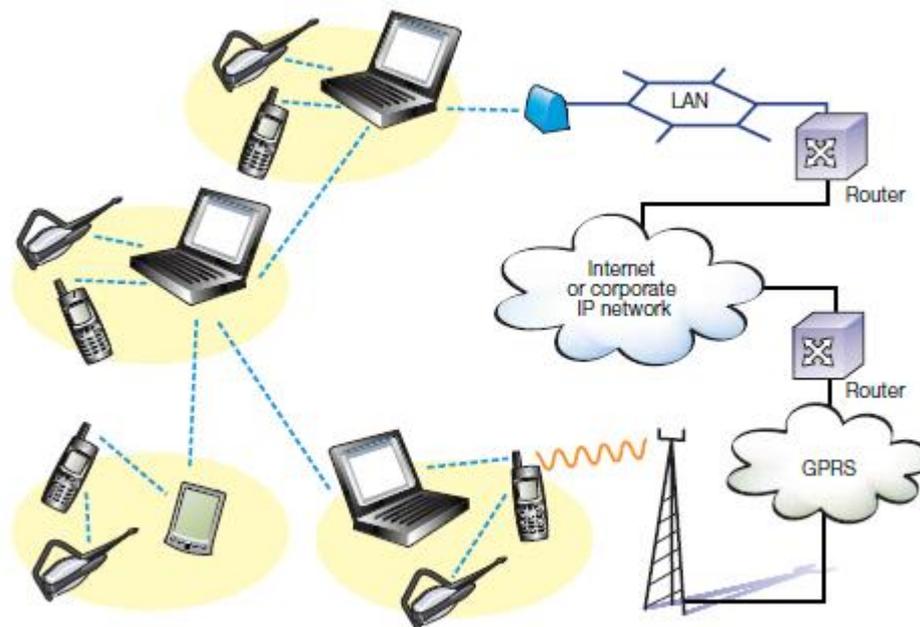


Figura 2. 3: Escenario PAN con cuatros PAN interconectadas.

Fuente: Mercado, A., et al. (2014)

Una PAN también puede abarcar varias tecnologías de acceso distribuidos entre sus diversos dispositivos miembros, que explotan la funcionalidad Ad Hoc en una PAN. Por ejemplo, un ordenador portátil podría tener una interfaz LAN inalámbrica (WLAN) (como IEEE 802.11 o

HIPERLAN/2) que proporciona acceso a la red cuando el equipo se utiliza en interiores. Por lo tanto, el PAN se beneficiaría de la suma total de todas las tecnologías de acceso que residen en los dispositivos PAN.

Medida que el concepto de PAN ha madurado, este permitirá que los nuevos dispositivos y nuevas tecnologías de acceso sean incorporados en el marco de una PAN. También se debería eliminar la necesidad de crear dispositivos híbridos, tales como una combinación de teléfono móvil-PDA, porque la red PAN en su lugar permite la integración inalámbrica.

En todos los escenarios descritos anteriormente, se debe enfatizar que la tecnología de radio de corto alcance, tales como Bluetooth, es un factor clave para la introducción de la flexibilidad representada por el concepto PAN.

2.5. Características y requisitos de redes Ad Hoc.

A diferencia de las redes alámbricas o inalámbricas tradicionales, se podría esperar una red Ad Hoc para funcionar en un entorno de red en el que algunos o todos los nodos son móviles. En este entorno dinámico, las funciones de red deben ejecutarse de una manera distribuida, ya que los nodos podrían desaparecer de repente o aparecer en la red. En general, sin embargo, los mismos requisitos de los usuarios básicos para la conectividad y el tráfico de entrega, se aplican a las redes tradicionales y son aplicadas a redes Ad Hoc.

A continuación, se discuten algunas características operativas típicas y cómo afectan a los requisitos para funciones de red relacionados. Para limitar el alcance de la discusión, vamos a examinar el caso de un de PAN orientada a una red Ad Hoc, que implica una mezcla de los ordenadores portátiles, teléfonos móviles y PDAs.

- a. funcionamiento distribuido: un nodo en una red ad hoc no puede apoyarse en una red en el fondo para apoyar las funciones de seguridad y enrutamiento. En lugar de estas funciones deben ser diseñados de manera que puedan operar eficientemente en condiciones distribuidas.

- b. la topología de red dinámica: en general, los nodos serán móviles, que tarde o temprano se traducirá en una topología de redes diferentes. Sin embargo, la conectividad en la red debe mantenerse para que las aplicaciones y servicios puedan operar ininterrumpidamente. En particular, esto influirá en el diseño de los protocolos de enrutamiento. Por otra parte, el usuario de la red Ad Hoc también requerirá el acceso a una red fija (como Internet), incluso si los nodos se mueven alrededor. Esto requiere de funciones de gestión de movilidad que permiten el acceso a la red para los dispositivos ubicados a varios saltos de radio de distancia de un punto de acceso a la red.

- c. La fluctuación de la capacidad del enlace: los efectos de las altas tasas de errores de bits puede ser más profunda en redes Ad Hoc de saltos múltiples, ya que la suma de todos los errores de enlace es lo que afecta a una ruta de saltos múltiples. Además, más de una ruta de extremo a extremo puede utilizar un enlace dado, que si el enlace se rompiera, podría interrumpir varias sesiones durante los períodos de altas tasas de transmisión de errores de bits. Aquí, también, la función de encaminamiento se ve afectado, pero las funciones eficaces para la protección de la capa de enlace (tales como corrección de error hacia adelante, FEC, y petición de repetición automática, ARQ) pueden mejorar sustancialmente la calidad del enlace.

- d. Dispositivos de baja potencia: en muchos casos, los nodos de la red serán accionados por batería, lo que hará difícil el balance de potencia para todos los componentes consumidores de energía en un dispositivo. Esto afectará, por ejemplo, el procesamiento de una CPU, tamaño de la memoria utilizada, procesamiento de señales, y la potencia del transmisor de entrada/salida. Las funciones de comunicación relacionados (básicamente toda la pila de protocolos por debajo de las aplicaciones) directamente, cargan la solicitud y servicios que se ejecutan en el dispositivo. Por lo tanto, los algoritmos y mecanismos que implementan las funciones de red deben ser optimizados para un bajo consumo de energía, con el propósito de liberar espacio para las aplicaciones mientras que todavía proporciona un buen rendimiento de comunicación.

Dadas las condiciones de funcionamiento antes mencionados, qué puede esperar el usuario de una red PAN Ad Hoc? Lo más probable es que se requiere el apoyo de los servicios multimedia dentro y a lo largo de la red PAN Ad Hoc. A continuación se muestran cuatro clases de calidad de servicio (QoS) que facilitarían el uso de aplicaciones multimedia, incluyendo:

- a) conversación (voz);
- b) descarga continua (video/audio);
- c) interactividad (web); y
- d) rutinas de ejecución en segundo plano (FTP, etc.).

Estas clases de servicio se han definido para el soporte de QoS en las redes UMTS y también deben ser apoyados en el entorno de red PAN. Sin embargo, la calidad de las comunicaciones estocásticas inherentes a una red inalámbrica Ad Hoc, como se mencionó anteriormente, hace que sea difícil ofrecer garantías fijas en los servicios que se ofrecen a un dispositivo. En las redes de este tipo, garantías fijas darían lugar a requisitos de cómo se

mueven los nodos, así como requisitos para la densidad de nodos, lo que inherentemente inhiben el concepto de funcionamiento Ad Hoc. Sin embargo, cuando las condiciones de comunicación son estables, la infraestructura PAN debe proporcionar la misma QoS como se ha definido para la red de acceso. Para mejorar aún más la percepción del usuario del servicio, las aplicaciones de usuario que se ejecutan a través de una red Ad Hoc se podrían hacer para adaptarse a los cambios repentinos en la calidad de la transmisión.

El soporte de QoS en una red Ad Hoc afectará la mayoría de las funciones de red mencionados anteriormente, especialmente de enrutamiento y movilidad. Además, los mecanismos locales de gestión de memoria intermedia y de prioridad deben ser desplegados en los dispositivos con el fin de manejar flujos de tráfico diferenciados. En el siguiente apartado se describen tres de las funciones que se mencionaron con anterioridad, a saber, la seguridad, enrutamiento y la movilidad. Creemos que estas funciones son buenos puntos de partida para una discusión de las implicaciones que la operación ad hoc tendrá sobre la funcionalidad de red.

2.6. Funciones típicas de redes Ad Hoc.

A continuación se describen cada una de las tres funciones típicas en redes Ad Hoc.

2.6.1. Seguridad

Obviamente, la seguridad es una preocupación en una red ad hoc, en particular si se emplean múltiples saltos. ¿Cómo puede un usuario estar seguro de que nadie está escuchando a escondidas a través de un nodo para protegerse? ¿Será que en el otro extremo la persona es quien dice ser? Desde un punto de vista puramente criptográfica, Mercado, A., et al. (2014) sostiene que las redes Ad Hoc no involucran problemas "nuevos" en cuanto a seguridad se refiere.

De acuerdo a Mercado, A., et al. (2014) los requisitos de seguridad en redes Ad Hoc son similares a redes de telecomunicaciones públicas, con respecto a la autenticación, confidencialidad, integridad y sin repudio. Pero el único problema central en las redes inalámbricas Ad Hoc, es la confianza. Es decir, que nuestra única solución es utilizar claves criptográficas. Por lo tanto, el reto fundamental es crear relaciones de confianza entre las teclas sin la ayuda de una certificación de confianza de terceros.

Dado que las redes Ad Hoc se crean espontáneamente entre las entidades que pasan a estar en la misma ubicación física, no hay garantía de que cada nodo tengan llaves públicas de confianza a otros nodos o que puedan presentar los certificados que se confiaron por otras partes. Sin embargo, si permitimos que la confianza para ser delegada entre nodos, los nodos que ya han establecido relaciones de confianza puedan extender este privilegio a otros miembros del grupo.

El método descrito a continuación se puede utilizar para la distribución de relaciones de confianza a una red completa Ad Hoc. Es decir, que debe enfocarse en claves públicas y desplegadas en pequeñas redes Ad Hoc (ver figuras 2.4 a 2.7). Asumimos que existe conectividad entre todos los nodos de la red, y que puede ser mantenida por un protocolo reactivo Ad Hoc de enrutamiento.

- a. Inicialmente, el nodo A asume el papel de nodo de servidor en el procedimiento de delegación de confianza. A desencadena el procedimiento inundando un mensaje de inicio en la red. Cada nodo que recibe este mensaje por la red ad hoc con un mensaje que contiene el conjunto de claves públicas de confianza. A continuación, puede establecer una “mapa” de las relaciones confiables y serán identificadas en la red Ad Hoc. En la figura 2.4

se muestra un ejemplo de tres grupos diferentes (G1, G2, G3) que comparten una cadena de confianza.

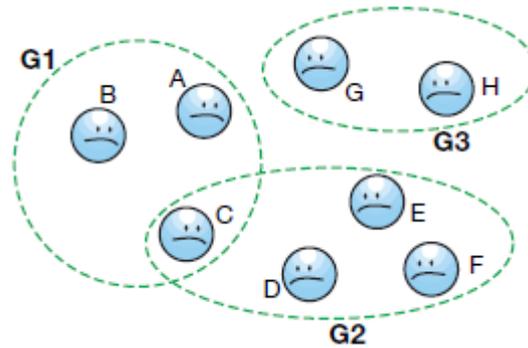


Figura 2. 4: Red Ad Hoc con tres grupos de confianza separados G1, G2 y G3.
Fuente:

- b. Todos los nodos en G2 comparten una relación confiable indirecta hasta A (a través del nodo C). El nodo A, puede por lo tanto recoger las claves firmadas que recibió de G2 a través de C tal como se ilustra en la figura 2.5. Por el contrario, los nodos de G3 no tienen una relación de confianza hasta A. Sin embargo, una relación de confianza entre, por ejemplo, el nodo G en G3 y A se pueden crear manualmente mediante el intercambio de claves de confianza.

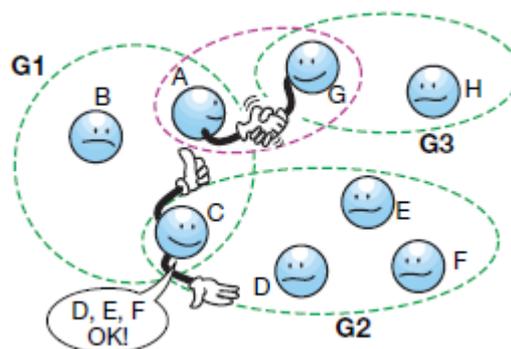


Figura 2. 5: Establecimiento de confianza los nodos de G2 hasta A.
Fuente:

- c. El nodo A puede ahora recoger las llaves firmadas recibidas de G3 a través de G (ver figura 2.6). A continuación, puede inundar la red

Ad Hoc con todas las claves firmadas recogidas. Este procedimiento crea relaciones de confianza entre todos los nodos de G1, G2 y G3, y forma un nuevo grupo de confianza, G1' tal como se muestra en la figura 2.7.

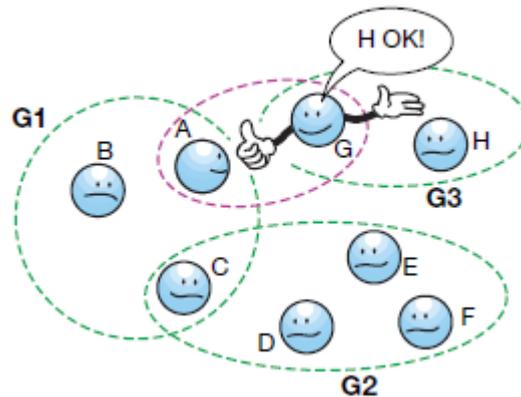


Figura 2. 6: Nodo G recibe claves públicas firmadas en los nodos A y H.
Fuente:

Este ejemplo se puede generalizar en un protocolo que se encarga de la distribución de la confianza en una red ad hoc arbitraria.

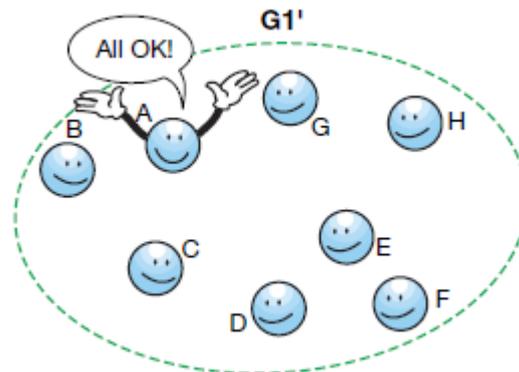


Figura 2. 7: Nodo A por la red Ad Hoc con todas las claves firmadas.
Fuente:

2.6.2. Enrutamiento en redes Ad Hoc

El enrutamiento (Routing) de paquetes entre diversos nodos inalámbricos sobre redes móviles Ad Hoc, se ha convertido en una tarea

difícil debido a que los nodos se mueven aleatoriamente dentro de la red. Un camino que se considera óptimo en un punto dado en el tiempo podría no funcionar en minutos posteriores. Por otra parte, las propiedades estocásticas de los canales inalámbricos se suman a la incertidumbre de la calidad del camino. El entorno operativo como tal también puede causar problemas para los escenarios de interior el cierre de una puerta podría causar un camino a ser interrumpido.

Los protocolos de enrutamiento tradicionales son proactivos en la que mantienen las rutas a todos los nodos, incluyendo nodos a los que se están enviando ningún paquete. Reaccionan a cualquier cambio en la topología incluso si no hay tráfico se ve afectado por el cambio, y requieren mensajes de control periódicos para mantener rutas a cada nodo en la red. La velocidad a la que se envían estos mensajes de control debe reflejar la dinámica de la red con el fin de mantener rutas válidas. Así, los recursos escasos como el ancho de banda de potencia y enlace serán utilizados con más frecuencia para el tráfico de control a medida que aumenta la movilidad del nodo.

2.6.3. Funciones de movilidad.

En la actualidad las redes celulares, nodos y la movilidad de los usuarios son manejados principalmente por medio de reenvío. De este modo, cuando un usuario hace circular fuera de su red doméstica llamadas dirigidas a él se remitirán a la red visitante a través de su red doméstica. Este mismo principio se aplica para el reenvío de IP móviles. Un usuario, o en realidad el nodo con la interfaz IP, también pueden seguir usando una dirección IP fuera de la subred a la que pertenece.

Mientras que un nodo itinerante que entra en una red extranjera se asocia con cuidado a una dirección proporcionada por un agente extraño

(Foreign Agent, FA). En la red doméstica, un agente local (Home Agent, HA) establece un túnel IP para un FA usando con cuidado la dirección. Cualquier paquete enviado a la dirección del nodo itinerante se envía primero al agente de origen, que con cuidado lo reenvía a un FA a través de la dirección (túnel).

Entonces, un FA desencapsula el paquete y lo envía al nodo de itinerancia usando la dirección IP (casa) original. El encaminamiento real en la red fija no se ve afectada por este método de túnel y se puede utilizar protocolos de enrutamiento tradicionales como el camino más corto primero (*Open Shortest Path First, OSPF*), el protocolo de información de enrutamiento (*Routing Information Protocol, RIP*), y el protocolo de puerta de enlace fronterizo (*Border Gateway Protocol, BGP*). Este enfoque de reenvío es apropiado en los casos en que sólo los nodos (terminales) en los mismos bordes de las redes (fijas) se están moviendo.

Sin embargo, en una red Ad Hoc, este no es el caso, puesto que los nodos en el centro de la red también se pueden mover o más bien, toda la red se basa en la idea de dispositivos que sirven tanto como enrutadores y anfitriones en el mismo tiempo. Por lo tanto, en una red Ad Hoc, la movilidad se realiza directamente por el algoritmo de enrutamiento. Si un nodo se mueve, forzando el tráfico de otra manera, el protocolo de enrutamiento se encarga de los cambios en la tabla de enrutamiento del nodo.

En muchos casos, se puede esperar interfuncionamiento entre redes Ad Hoc y fijas. El interfuncionamiento haría posible que un usuario en un viaje toma parte de una conferencia en su ordenador portátil, pero requiere de movilidad, para ser accesible a través de la red IP fija. Por otra parte, ya que el usuario quiere ser accesible desde la red fija, IP móvil sería una manera conveniente de hacer de él alcanzable a través de la red IP fija. Si el usuario está localizado varios saltos de radio de distancia del punto de

acceso, IP móvil y el protocolo de enrutamiento de red Ad Hoc deben interoperar para proporcionar conectividad entre el usuario que viaja y su nodo par, que se encuentra en la red fija o en otra red Ad Hoc.

Capítulo 3: Modelado y Evaluación de una Red Ad Hoc

3.1. Presunciones en los Modelos de Canales.

Para los escenarios simulados inalámbricamente, se supone que todos los nodos están en línea de vista de las señales de trayecto múltiples y no están presentes. Las transmisiones de paquetes son modelados como cuantos de energía en el canal. El tiempo durante el cual la energía de un paquete permanece en el canal está determinado por el tiempo de transmisión y el tiempo de propagación del paquete.

La relación señal/ruido de interferencia se utiliza para determinar el estado de paquetes. Esta parte se discute a continuación:

- OPNET utiliza etapas de canalización para la simulación de los distintos efectos del canal de transmisión de paquetes. El escenario proporcionado de referencia inalámbrica pipeline <wlan_propdel> de OPNET 9.0 utiliza un rango predefinido como un criterio para determinar si el paquete que se está recibiendo es válido o solo ruido. Si la distancia entre el transmisor y el receptor es menor que un cierto umbral, el paquete se considera como válido; de lo contrario el paquete se considera como ruido. Cuando las etapas de canalización del receptor reciben un paquete válido, se genera un receptor ocupado de interrupción estadística para informar que protocolo de la sub-capa MAC está recibiendo un paquete y el canal que este ocupado.

La BER se obtiene mediante el uso de las curvas de modulación BPSK. La pérdida de trayectoria se calcula utilizando las ecuaciones de Hata-Okumara. El rango de los nodos al utilizar antenas omnidireccionales de potencia de transmisión 1 mW, es de aproximadamente 350 metros.

3.2. Simulación de Escenarios de redes de salto simple.

Para la comparación de los protocolos de control de acceso al medio de WLAN utilizamos antenas direccionales, en la que montamos modelos de sistemas que permiten las transmisiones de paquetes de un solo salto. Los modelos de nodo se construyen utilizando el modelo de antena direccional de línea base y de los modelos de WLAN modificados. Los siguientes protocolos de control de acceso al medio se han implementado:

- a. Escenario A. En este escenario todos los nodos utilizan antenas omnidireccionales para la transmisión y recepción de los paquetes.
- b. Escenario B. En este escenario las antenas direccionales se utilizan para transmitir la solicitud de envío (*Request To Send, RTS*) de los paquetes de datos y acuse de recibo (*Acknowledgement, ACK*), mientras que las antenas omnidireccionales se utilizan para indicar que proceda la transmisión de paquetes (*Clear To Send, CTS*).
- c. Escenario C. En este escenario las antenas direccionales se utilizan para transmitir RTS, DATA, CTS y ACK.
- d. Escenario D. En este escenario se transmiten datos utilizando el método de acceso básico al dirigir la antena de transmisión hacia el usuario deseado. El receptor funciona en el modo omnidireccional.

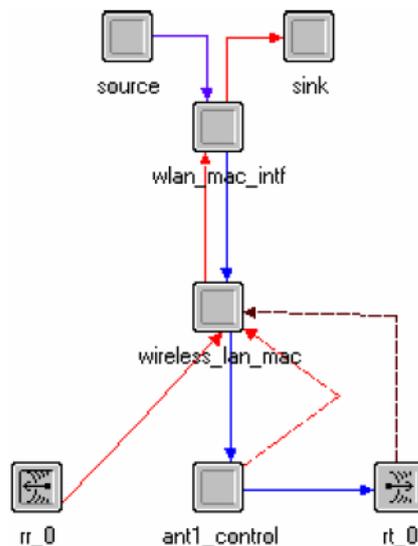


Figura 3. 1: Modelo de nodo para los nodos utilizando el protocolo CTS direccional.
Fuente: El Autor

El modelo de los nodos inalámbricos se muestra en la figura 3.1. El modelo de nodo consiste en el módulo de interface del control de acceso al medio <<wireless_lan_mac>> con controlador de antena <<ant1_control>> usando <<ici_ptr>>. El modelo de proceso <<wireless_lan_mac>> se modifica para generar comandos para el controlador de la antena de acuerdo con el algoritmo de control del haz (rayo).

El controlador de antena varía el patrón para recibir y transmitir de acuerdo con los comandos recibidos de la sub-capa de control de acceso al medio. Para la caracterización de la red se ha utilizado una de siete elementos de la matriz circular igualmente espaciados. El radio de la matriz circular es de 0,15 metros. Los nodos se encuentran en el área de 600m x 600m, tal como se muestra en la figura 3.2.



Figura 3. 2: Distribución de nodos en un área de 600m x 600m.

Fuente: El Autor

Los nodos inalámbricos obtienen el ángulo de llegada (incidencia) desde el controlador de la antena y mantienen una Base de Información Vecina que contiene información sobre la posición angular de los nodos vecinos. En la presente simulación, los paquetes se generan para los nodos

vecinos que utilizan distribuciones uniformes (0.0001, 0.001) de las horas de llegada interrelacionados y de un tamaño de paquete constante de 1024 bits.

En la figura 3.3 se puede apreciar una mejora en el rendimiento para los escenarios que implican el uso de antenas direccionales. La ganancia de rendimiento es mayor para el método que utiliza RTS direccionales / CTS. Figura 6.4 compara el rendimiento de los diferentes protocolos de control de acceso al medio de dirección en un intervalo de tiempos entre llegadas. El tiempo entre llegadas se varía a partir de (0,0001, 0,001) a (0,0006, 0,006) en pasos discretos de (0.0001, 0.001).

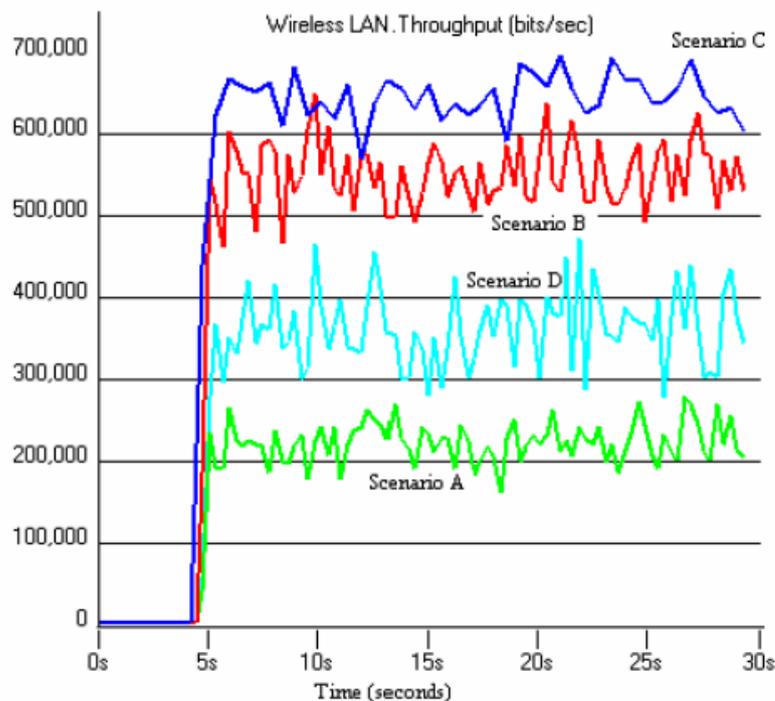


Figura 3. 3: Rendimiento de las redes WLAN para los escenarios A, B, C y D.
Fuente: El Autor

Las gráficas de rendimiento de las figuras 3.3 y 3.4 validaron el argumento, de que el rendimiento de la red depende del algoritmo de control de la antena utilizada. El uso de RTS direccional/CTS direccional proporciona un mejor rendimiento que el uso RTS direccional/CTS omnidireccional.

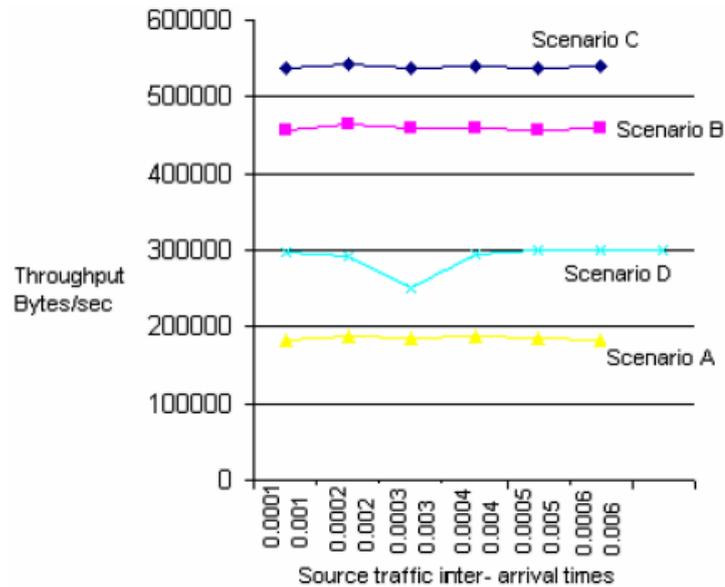


Figura 3. 4: Rendimiento de WLAN para diferentes escenarios de control de antena.
Fuente: El Autor

3.3. Simulación de Escenarios en Redes multisaltos.

Los escenarios que implican transmisiones de paquetes de redes multisaltos (saltos múltiples) han sido creados para investigar el efecto de la formación de enlace extendido en la capa superior. Para los escenarios de saltos múltiples, el protocolo dinámico de enrutamiento de origen se utiliza para el encaminamiento.

3.3.1. Modelo DSR para nodos mediante enlaces inmediatos (node_dsr_omni).

Se desarrolló este modelo de nodo para la simulación de los escenarios de red que implican transmisiones inalámbricas (WLAN) utilizando los enlaces inmediatos. El modelo de nodo se muestra en la figura 3.5. El modelo de nodo propuesto, consta de un modelo de proceso de enrutamiento DSR que interactúa con la capa superior, así como el módulo de acceso al medio de la interfaz de control.

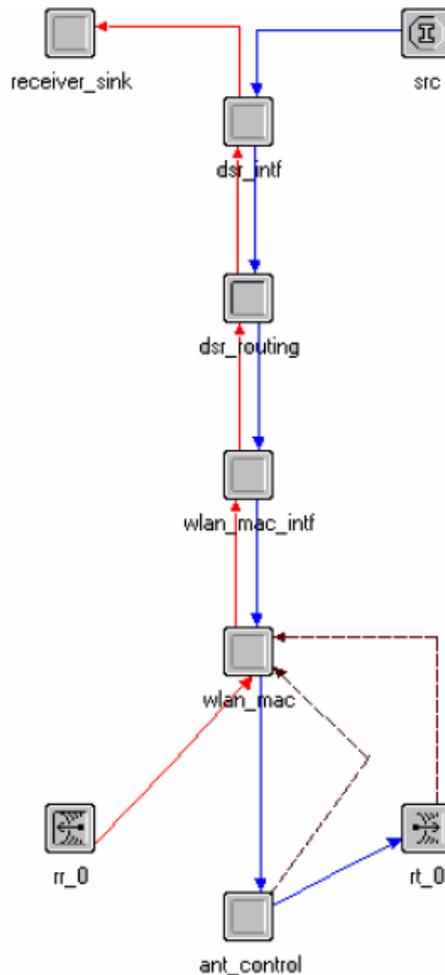


Figura 3. 5: Modelo del nodo DSR para enlaces inmediatos.
Fuente: El Autor

El modelo de proceso de enrutamiento DSR se ha obtenido mediante investigación realizada de modelos DSR implementados en la parte práctica. El módulo de DSR recibe los paquetes desde el módulo de fuente y los procesa de acuerdo con el protocolo DSR. El módulo de DSR recibe los paquetes desde el módulo de fuente y los procesa de acuerdo al protocolo DSR. Los paquetes que se van a transmitir a la capa de control de acceso al medio se envían al módulo de <<wlan_mac_intf>>. El módulo <<wlan_mac_intf>> asigna la dirección de capa de red a una dirección de capa de control de acceso al medio y pasa esta información, junto con el paquete a la capa <<wlan_mac>> para ser transmitidos.

El proceso del modelo <<wlan_mac>> utiliza el método de acceso básico para el control de acceso al medio. El modelo de nodo está configurado para formar patrones de recepción y transmisión de antenas omnidireccionales a largo de la simulación.

3.3.2. Modelo XuDSR para nodos de apoyo en enlaces extendidos.

El modelo de nodo XuDSR se construye para apoyar la formación de enlace extendido. El modelo de nodo consiste en el módulo de fuente de tráfico, el módulo XuDSR, el módulo de control de acceso al medio inalámbrico y el módulo controlador de la antena tal y como se muestra en la figura 3.6.

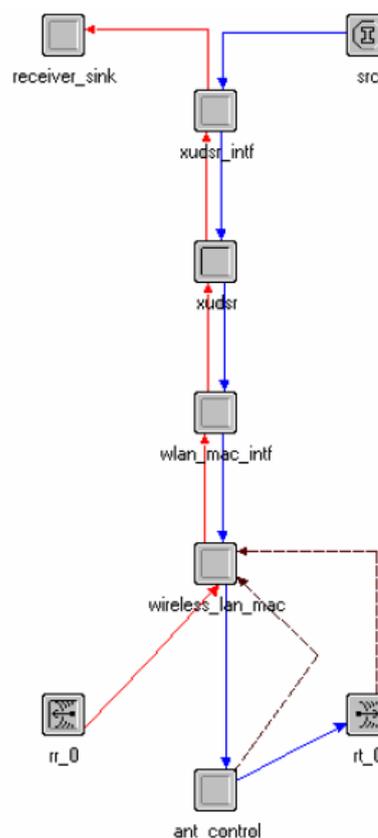


Figura 3. 6: Modelo del nodo XuDSR para enlaces extendidos.
Fuente: El Autor

El módulo XuDSR se obtiene mediante la modificación del modelo de proceso de DSR (fórmula empírica para la pérdida de propagación en los

servicios de radio móviles terrestres) para apoyar el establecimiento del enlace extendido. El manejo de paquetes para XuDSR <<RequestToOrient>>, <<ReplyRequestToOrient>> y de paquetes XDATA se introduce en el modelo de proceso DSR de conformidad con el mecanismo XuDSR. La red de antenas direccionales utilizadas en las simulaciones, es un conjunto circular de siete elementos igualmente espaciados.

3.3.3. Metodología de simulación.

Los resultados de las simulaciones utilizando antenas direccionales dependen de la localización espacial de los nodos de la red. Los escenarios son simulados utilizando los dos modelos de nodos diferentes ya discutidos. Así, para cada topología de red y conjunto fijo de características del tráfico, tenemos las siguientes dos escenarios de simulación:

1. El escenario contiene nodos DSR omnidireccionales. Este escenario utiliza el modelo de nodo <<node_dsr_omni>>. A esto le denominamos el escenario omnidireccional.
2. El escenario contiene nodos XuDSR. Este escenario consta de nodos utilizando el protocolo de enrutamiento XuDSR junto con el método de acceso básico direccional. A esto le llamamos el escenario extendido. Para el análisis, hemos configurado los nodos <<node_1>> y <<node_2>> para establecer un vínculo extendido entre ellos. Todos los demás nodos utilizan vínculos inmediatos para la transmisión de datos.

Los nodos se distribuyen al azar en un área física dada y las simulaciones se ejecutan para un conjunto fijo de características de tráfico. En todos los escenarios de simulación el <<node_0>> genera tráfico para el <<node_1>> utilizando un tiempo de llegada distribuido uniformemente. Todos los otros nodos generan los paquetes dirigidos el uno al otro (entre sí)

utilizando la dirección de destino seleccionado al azar. El tráfico en las simulaciones se inicia en $t=2$ s. Las simulaciones se detienen cuando el rendimiento de <<node_1>> alcanza un valor de estado estacionario.

La simulación se supone alcanzar el estado estable cuando el intervalo de confianza del 95% está dentro de 1% del valor promedio. Las simulaciones para el escenario A se llevaron a cabo durante 50 s y para los escenarios B y C durante 4 minutos. Para caracterizar el efecto de rendimiento del tráfico de red en el <<node_1>>, el escenario C se simula mediante la variación del perfil de tráfico de nodos en la red.

Cada simulación se ejecuta para cinco valores diferentes, estas simulaciones se realizaron para redes que utilizan el enlace prolongado (extendido), así como enlaces omnidireccionales y durante cinco perfiles de tráfico diferentes. Dado que los resultados de la simulación se correlacionan con la distribución espacial de los nodos, la topología de la red propuesta se mantiene para cada conjunto de resultados de la simulación.

3.3.4. Indicadores de Rendimiento

Los siguientes parámetros de rendimiento se recogen de los diferentes escenarios de simulación.

- 1) Retardo de End-to-End (ETE), estadísticamente se utiliza para determinar la diferencia de tiempo entre la generación de paquete en el <<nodo_0>> y la llegada del paquete en la capa superior en el <<node_1>>. El retraso estadístico extremo a extremo, se recoge para las transmisiones de paquetes entre <<node_1>> y <<nodo_0>>.

- 2) Datos locales recibidos, estadísticamente se utiliza para determinar la cantidad de datos recibidos por el <<node_1>> en cualquier momento durante la simulación.
- 3) Datos totales recibidos con éxito, estadísticamente mide el número total de paquetes recibidos con éxito por todos los nodos de la red.
- 4) Rendimiento de <<node_1>>, estadísticamente mide el rendimiento efectivo disponible entre nodos <<node_0>> y <<node_1>>.

3.3.5. Análisis del establecimiento de enlaces extendido.

Para el análisis de rendimiento de los escenarios de la red mediante enlaces largos, se presentan las topologías de red y los resultados de rendimiento de los escenarios simulados utilizando la plataforma OPNET. Comenzamos con un escenario idealista para ilustrar la ganancia de rendimiento utilizando enlaces extendidos. En la figura 3.7 se muestra un escenario de red que consta de nodos distribuidos en la red con el fin de formar una forma "U". Las simulaciones se realizan para este escenario utilizando los modelos de nodos <<node_dsr_omni>> y <<node_xudsr>>.

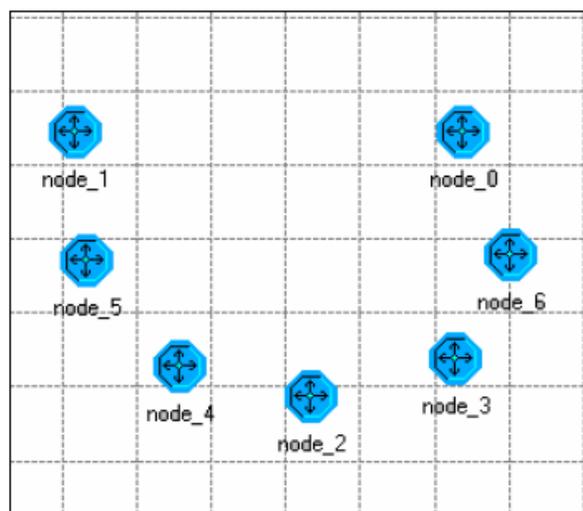


Figura 3. 7: Distribución de los nodos en U para el escenario A.

Fuente: El Autor

En el escenario de simulación mediante modelos de nodo <<node_dsr_omni>>, los paquetes del <<node_0>> al <<node_1>> se transmiten a través del enlace de saltos múltiples como sigue

node_0→ node_6→ node_3→ node_2→ node_5→node_1

En el escenario de simulación utilizando el nodo <<node_xudsr>>, se establece un vínculo extendido con <<node_1>> en vez de enviar paquetes de datos utilizando la ruta de saltos múltiples. Las simulaciones para ambos escenarios se ejecutan utilizando el mismo perfil de tráfico como se indica en la sección 3.3.2. La simulación se ejecuta durante 40 s, ya que este tiempo es suficiente para observar los valores de indicadores de estado estable.

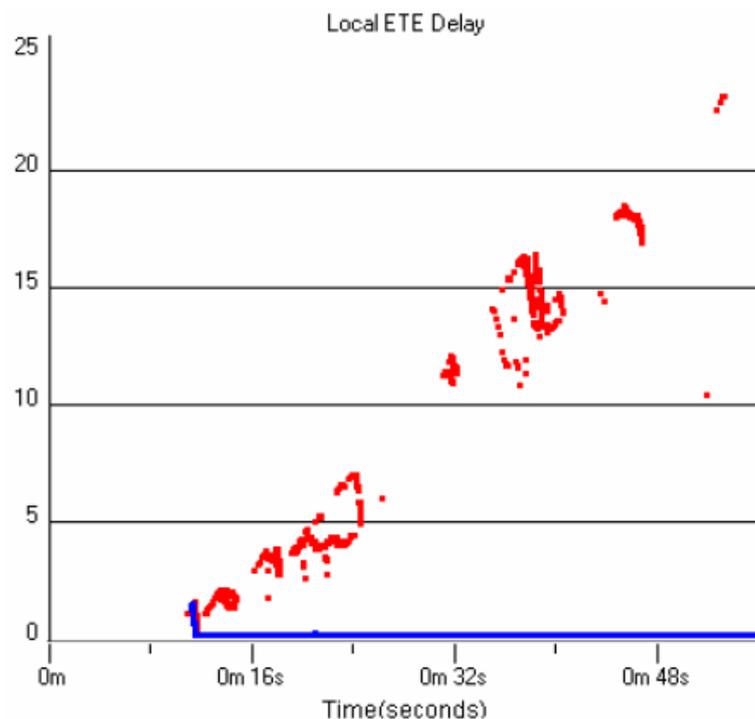


Figura 3. 8: Retardo de extremo a extremo para los paquetes transmitidos desde node_0 a node_1.

Fuente: El Autor

En las figuras 3.8, 3.9 y 3.10 se muestran las gráficas de retardo local de extremo a extremo de los paquetes transmitidos con éxito en la red y los datos locales recibidos con éxito para los paquetes transmitidos entre

<<node_1>> y <<node_0>>. Como se ve en la figura 3.8, el uso del enlace extendido en la red “A” mostrado por la figura 3.7, conduce a una disminución en el retardo de extremo a extremo para los paquetes transmitidos entre <<node_0>> y <<node_1>>.

Se obtienen mejoras, porque el enlace extendido forma un enlace inalámbrico de no interferencia entre <<node_0>> y <<node_1>>, que es paralelo al enlace formado por otros nodos que transmiten paquetes en la red. Las gráficas mostradas en las figuras 3.9 y 3.10 demuestran las mejoras en los datos recibidos con el uso de enlaces extendidos.

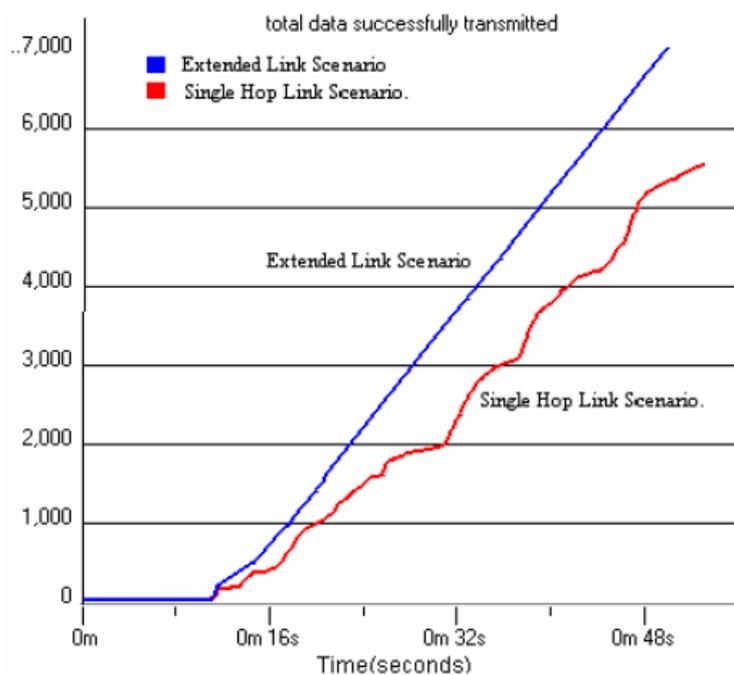


Figura 3. 9: Totalidad del número de paquetes transmitidos con éxito.
Fuente: El Autor

Como se mencionó anteriormente esto es un escenario ideal para el uso extendido, debido a que el enlace de enlace extendido no interfiere con enlaces ya existentes en la red, por lo que resulta un incremento del rendimiento de la red y la disminución del retardo de extremo a extremo para los nodos involucrados en el establecimiento del enlace extendido. La gráfica del rendimiento de la red para <<node_1>> se muestra en la figura 3.11.

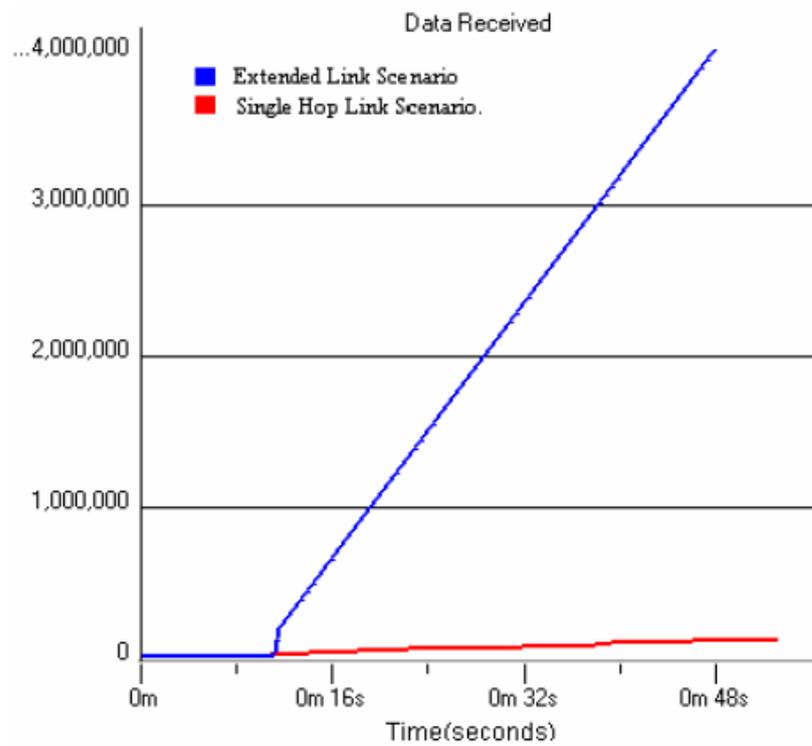


Figura 3. 10: Datos transmitidos (número de bytes) con éxito del node_0 al node_1.
Fuente: El Autor

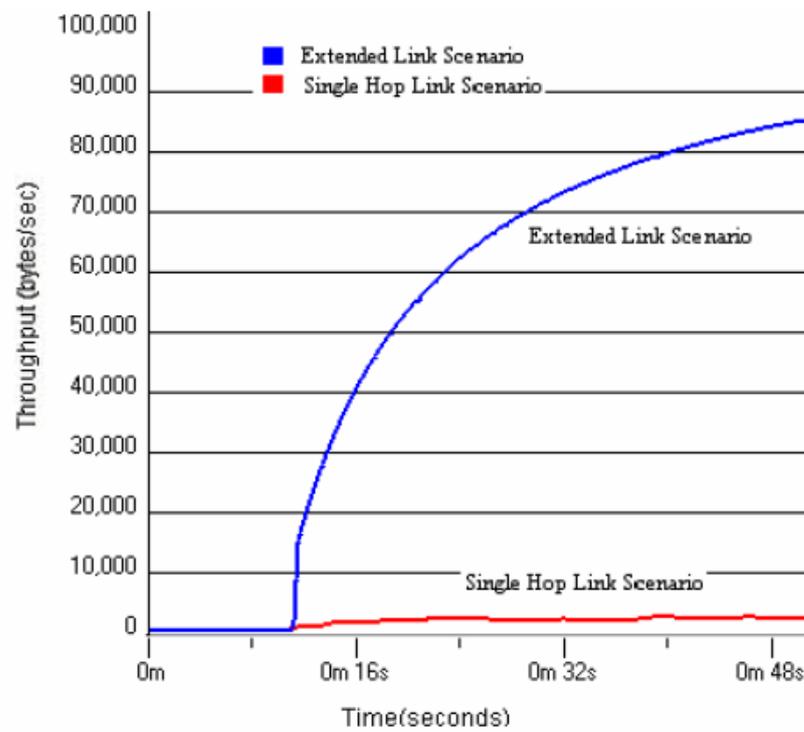


Figura 3. 11: Rendimiento de node_1.
Fuente: El Autor

En la figura 3.12 se ilustra otra topología de la red, denominada red B. En esta red, los nodos se distribuyen al azar en un área fija como se puede ver.

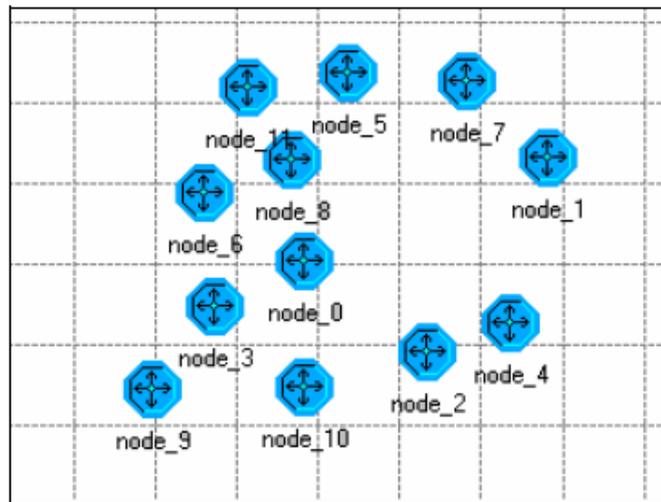


Figura 3. 12: Distribución aleatoria de los nodos en la red B.
Fuente: El Autor

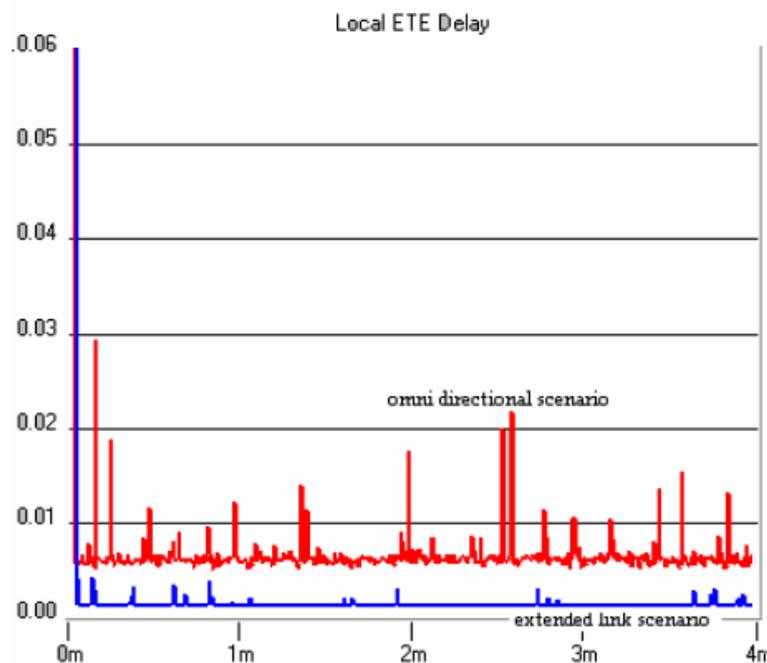


Figura 3. 13: Retardo de extremo a extremo para los nodos de la red B.
Fuente: El Autor

Para esta red (ver figura 3.12), las simulaciones se ejecutan utilizando los modelos de nodos <<node_dsr_omni>> y <<node_dsr_extended>>. Se

observa que aunque el retardo (delay) local de extremo a extremo (véase la figura 3.13) se reduce para los paquetes transmitidos entre los nodos <<node_1>> y <<node_0>>, la red no muestra ninguna mejora en el total de datos transmitidos con éxito en la red. Esto se debe al aumento en el número de errores en comparación con el escenario omnidireccional, que se puede observar en la figura 3.16.

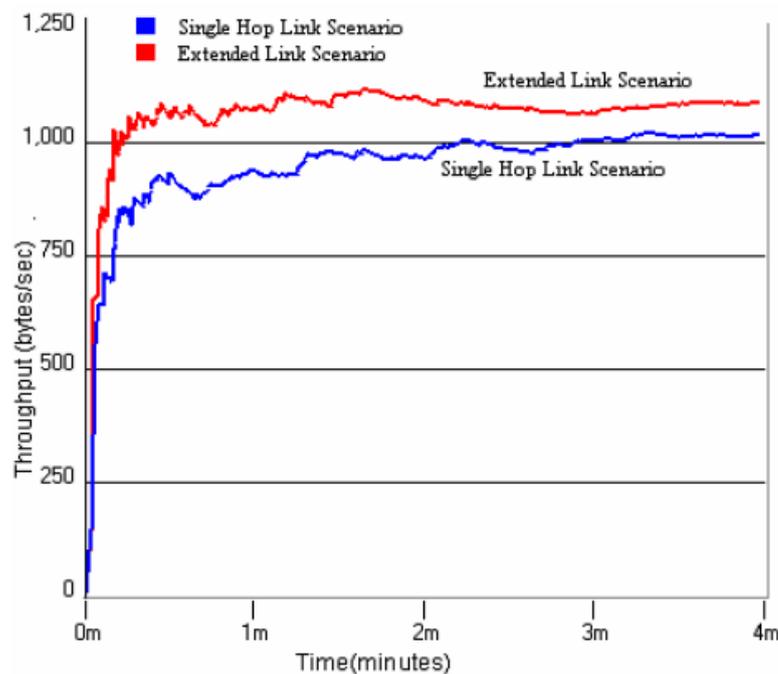


Figura 3. 14: Rendimiento del nodo node_1.
Fuente: El Autor

En la figura 3.14 se muestra el rendimiento del nodo <<node_1>>. Observamos un ligero aumento en el rendimiento de <<node_1>> usando el mecanismo de enlace extendido en este escenario.

Por lo tanto, a pesar de que los nodos son capaces de establecer un enlace extendido de la red B (véase la figura 3.15), la interferencia debida a los nodos vecinos aumenta el número de errores (véase la figura 3.16), lo que resulta en la pérdida de paquetes y la disminución en el rendimiento general de la red.

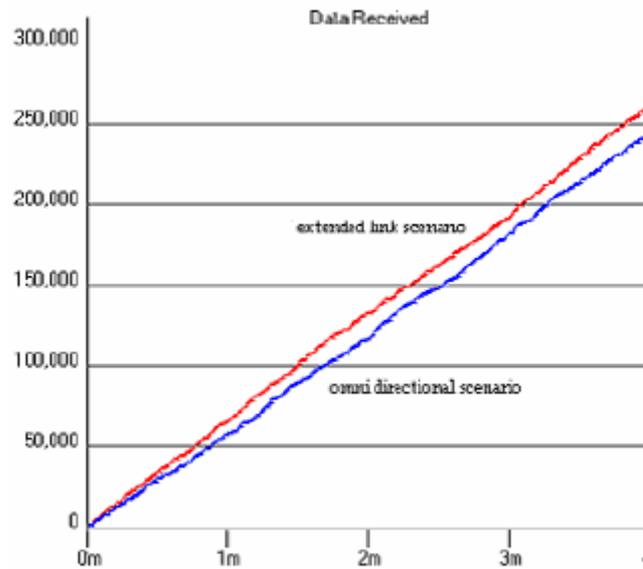


Figura 3. 15: Total de datos recibidos (número de bytes) por node_1 del node_0 en la red B.

Fuente: El Autor

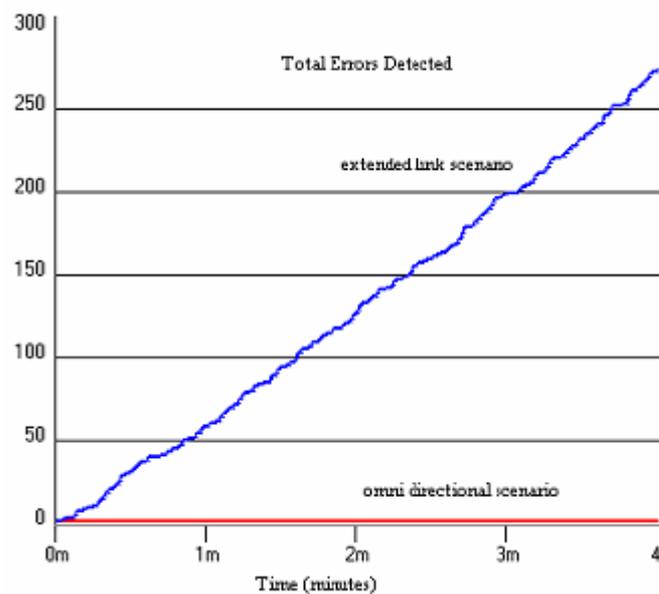


Figura 3. 16: Total de errores detectados en la red B.

Fuente: El Autor

En la figura 3.17 se ilustra la red C, que será utilizada para comparar el rendimiento del enlace extendido con un enlace inmediato. El retardo de extremo a extremo se compara para los distintos escenarios de la figura

3.18. Usando el enlace extendido, se observa un retardo de extremo a extremo mucho más bajo, en comparación con el escenario de omnidireccional. En la figura 3.19 se muestra los resultados obtenidos del enlace extendido, en la que no se ven mejoras en los datos recibidos en comparación con el escenario omnidireccional.

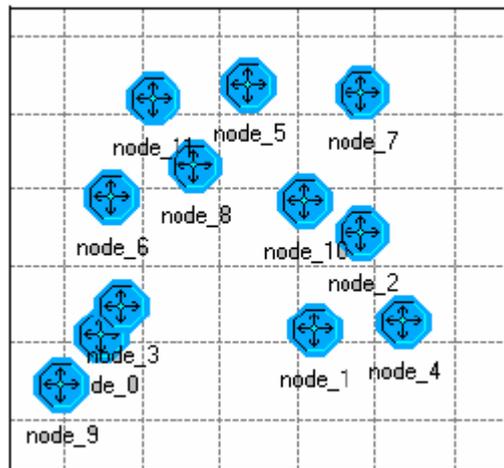


Figura 3. 17: Distribución aleatoria de los nodos en la red C.
Fuente: El Autor

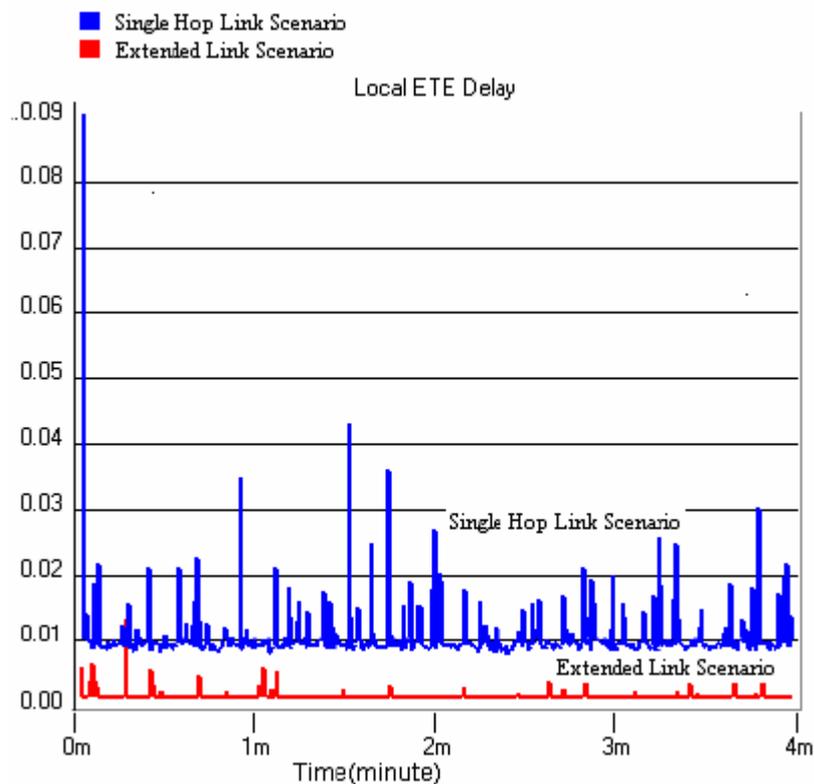


Figura 3. 18: Retardo extremo a extremo para el escenario C.
Fuente: El Autor

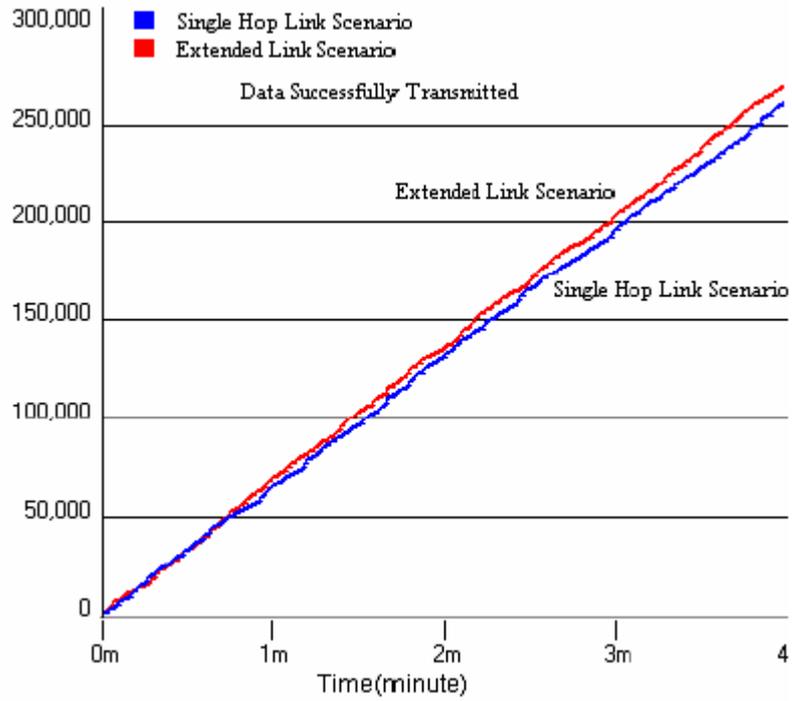


Figura 3. 19: Datos recibidos (número de bytes) por node_1 de node_2.

Fuente: El Autor

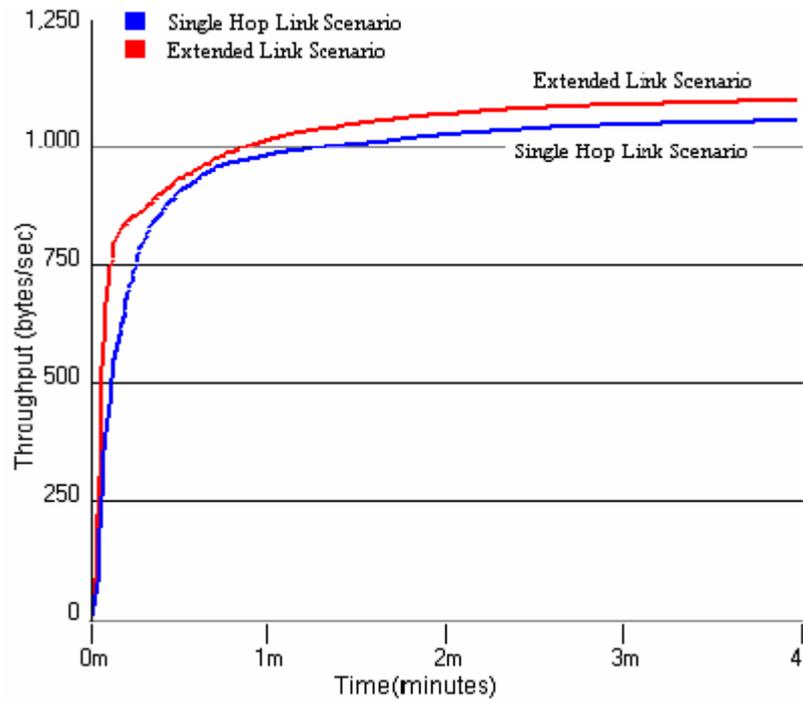


Figura 3. 20: Rendimiento del nodo node_1.

Fuente: El Autor

A partir de los resultados presentados de los tres escenarios aleatorios, se observa que el uso de la formación de enlace extendido sobre el método de acceso básico del control de acceso al medio puede proporcionar una mejoría en el retardo (delay) de extremo a extremo, pero como que puede o no proporcionar una ganancia en términos de rendimiento de la red en función de los enlaces que interfieren en la zona del enlace extendido. Los resultados mostrados son de los escenarios típicos de tráfico fijo.

En las figuras 3.21, 3.22 y 3.23 se muestran los resultados obtenidos mediante la variación de tráfico del escenario C. La fuente de llegada entre la hora de llegada del tiempo T para todos los nodos excepto <<node_0>> son distribuidas uniformemente entre (0, t) tal que $T \neq 0$ y $t = \{0.00001, 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1\}$.

El tiempo de llegadas para el node_0 se mantiene constante para todas las simulaciones. Observamos que el enlace extendido muestra una consistente mejora en el retardo de extremo a extremo a diferencia de la medición del rendimiento de <<node_1>> y del total de los datos transmitidos con éxito que no muestran ningún patrón consistente.

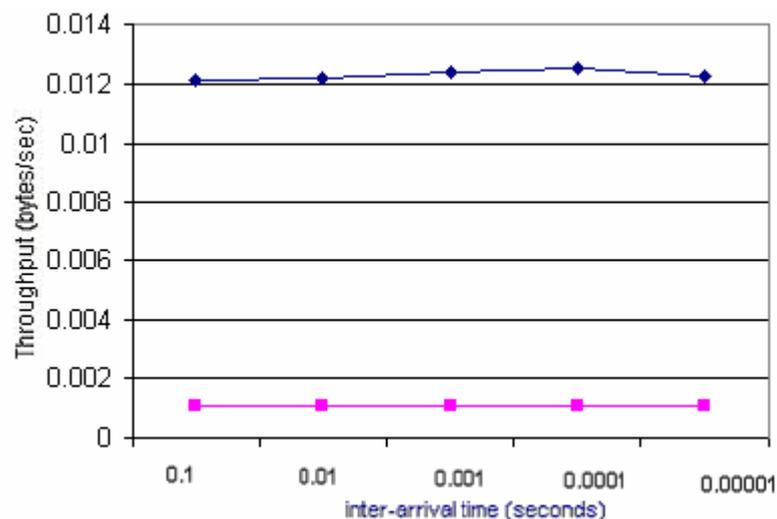


Figura 3. 21: Retardo para variar el tiempo entre origen y llegada de extremo a extremo.

Fuente: El Autor

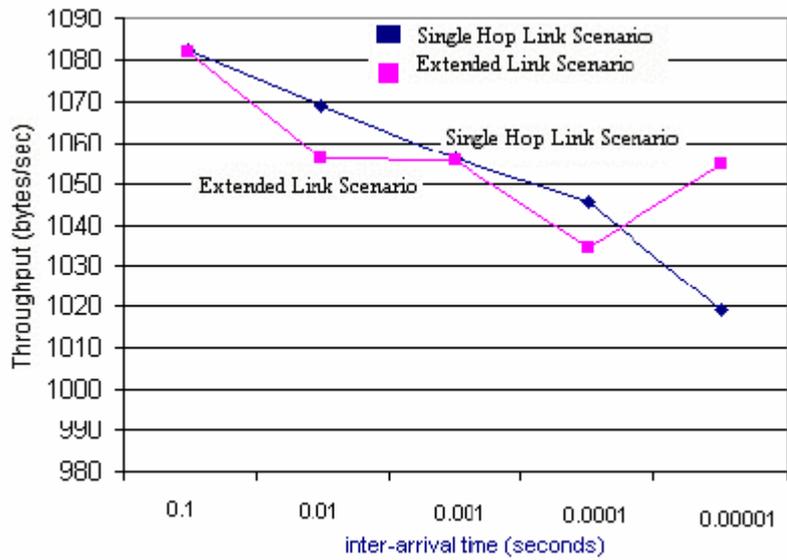


Figura 3. 22: Efecto de incrementar el rendimiento del tráfico de red de node_1 .
Fuente: El Autor

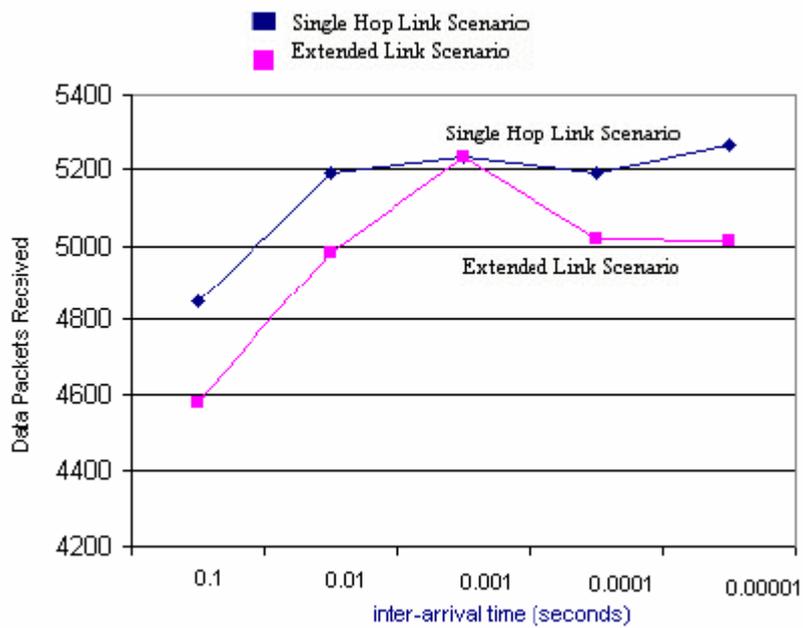


Figura 3. 23: Efecto de tráfico de la red del total de datos recibido correctamente.
Fuente: El Autor

Conclusiones

1. En el modelado y simulación de cada uno de los escenarios para redes inalámbricas de salto único, se observó que al utilizar RTS direccionales/CTS direccionales éstas proporcionan un mejor rendimiento que las redes RTS direccional/CTS omnidireccional.
2. Las simulaciones de redes multisaltos permitieron comparar el rendimiento del enlace extendido con enlaces de múltiples saltos, en la que se pudo demostrar una disminución en el retardo de extremo a extremo de enlaces extendidos, en comparación con enlaces multisaltos.
3. Asimismo, el rendimiento de la red del escenario de enlace prolongado puede ser mayor o menor que para el escenario de saltos múltiples, dependiendo de la ubicación de los nodos en la proximidad de los dos nodos que forman un enlace extendido.

Referencias Bibliográficas

Abramsson, N. (1970). *The ALOHA system another alternative for computer communications*. AFIPS Conf., pp. 695-702.

Awerbuch, B. & Mishra A. (2008). *Introduction to Ad Hoc Networks*. Advanced Topics in Wireless Networks. Departamento de Ciencias Computacionales de la Universidad Johns Hopkins.

Mercado, A., Berríos F., R., & Chan Y., P. (2014). *Redes inalámbricas Ad Hoc*. Universidad Interamericana de Puerto Rico, Bayamón.