



# UNIVERSIDAD DE COLIMA

## Facultad de Telemática

### PROPUESTA DE UN MECANISMO DE HANDOFF CROSSLAYER PARA PROVEER MOVILIDAD EN REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN COMPUTACIÓN

PRESENTA:

ING. MIGUEL ALEJANDRO CHAVARÍN HERNÁNDEZ

ASESORES:

D. EN C. RAYMUNDO BUENROSTRO MARISCAL

D. EN C. JUAN ANTONIO GUERRERO IBÁÑEZ

COLIMA, COL. MÉXICO, 18 DE FEBRERO DE 2016



# Resumen

Este documento presenta una investigación acerca de los avances tecnológicos desarrollados hacia mecanismos de *handoff* que permitan comunicación continua de datos entre dispositivos móviles de la red; esto es, algoritmos que admitan continuidad de servicio de transferencia de información cuando un nodo cambia de ubicación.

**Palabras Clave:** *Handoff, Crosslayer, WSN.*



# Abstract

This document presents an investigation about the developed technological progresses on handoff mechanisms which allow continuous data communication between mobile devices within the network; this is, algorithms that allow the continuity of services of information transferring when a node changes its location.

**Key words:** *Handoff, Crosslayer, WSN.*



*Dedicado  
a mi pequeña familia...*





*Agradecimientos.*



# Índice

Resumen	i
Abstract	iii
Lista de tablas	xi
Lista de figuras	xiii
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Problemática . . . . .	3
1.2. Objetivos . . . . .	8
1.2.1. Objetivo general . . . . .	8
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	8
1.3. Justificación . . . . .	8
1.4. Preguntas de investigación . . . . .	10
1.5. Limitaciones y suposiciones . . . . .	10
1.6. Metodología . . . . .	11
1.7. Organización del documento . . . . .	12
<b>2. Esquema de fundamentos</b>	<b>13</b>
2.1. Transferencia de red ( <i>handoff</i> ) . . . . .	13
2.2. Clasificación del <i>handoff</i> . . . . .	14
2.2.1. Redes involucradas . . . . .	15
2.2.2. Número de conexiones . . . . .	16
2.2.3. Control del <i>handoff</i> . . . . .	19
2.3. Problemáticas que conlleva el <i>handoff</i> . . . . .	20
2.4. Importancia del <i>handoff</i> . . . . .	22

2.5. Estrategia de diseño <i>crosslayer</i> . . . . .	23
2.6. Resumen e Inferencias . . . . .	29
<b>3. Trabajos relacionados</b>	<b>31</b>
3.1. Celular . . . . .	33
3.2. <i>WLAN</i> - <b>CONTINUAR</b> . . . . .	33
3.3. <i>WSN</i> - <b>CONTINUAR</b> . . . . .	34
<b>4. Desarrollo de protocolo de <i>handoff</i></b>	<b>35</b>
4.1. Implementación en Simulador . . . . .	36
<b>5. Evaluación y análisis de resultados</b>	<b>41</b>
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>43</b>
<b>A. Anexos</b>	<b>45</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>47</b>
Referencias . . . . .	47

# Tablas



# Figuras

1.1.	Conjunto de computadoras conectadas formando una red. . . . .	3
1.2.	Clasificación de las redes inalámbricas en función de su alcance. . . . .	4
1.3.	Metodología de investigación propuesta . . . . .	11
2.1.	Clasificación del <i>handoff</i> . . . . .	15
2.2.	Horizontal <i>handoff</i> . . . . .	15
2.3.	Vertical <i>handoff</i> . . . . .	16
2.4.	Clasificación del <i>handoff</i> según las redes involucradas. . . . .	17
2.5.	Mecanismo tipo <i>hard handoff</i> . . . . .	17
2.6.	Mecanismo tipo <i>soft handoff</i> . . . . .	18
2.7.	Mecanismo tipo <i>softer handoff</i> . . . . .	18
2.8.	Temas importantes involucrados en un mecanismo de <i>handoff</i> . . . . .	20
2.9.	Ejemplo del efecto <i>ping-pong</i> en la ejecución de un mecanismo de <i>handoff</i> . . . . .	22
2.10.	Distribución de capas del Modelo <i>OSI</i> . . . . .	24
2.11.	Diferencia de operación y filosofía entre el modelo <i>OSI</i> tradicional y <i>crosslayer</i> . . . . .	26
2.12.	Distintos tipo de propuestas de diseño <i>crosslayer</i> . . . . .	27
3.1.	Requerimientos de mediciones biomédicas. <b>ES DE cite[Arnon2003]</b> . . . . .	32
4.1.	Algunas fuentes de investigación consultadas. . . . .	36

# Capítulo 1

## Introducción

El presente proyecto de tesis plantea el uso de una *WSN* (siglas en inglés de *Wireless Sensor Network*, Red Inalámbrica de Sensores), dentro de la cual se integran dispositivos fijos y móviles, actuando como puntos de acceso a la red y nodos para la recolección de datos, respectivamente. Dentro de las características con las que cuenta una *WSN* destacan su diseño no intrusivo, sus reducidos consumo de energía y costo de implementación, además de permitir la movilidad de sus dispositivos de red; siendo ésta una de las características más importantes al implementarse este tipo de redes en aplicaciones que incluyen a personas.

Esto infiere que los miembros, dispositivos o nodos de una *WSN* son, en general, de tamaño reducido y portables, pudiendo ser fácilmente acoplados a usuarios móviles (Silva, Sa Silva, y Boavida, 2014). Por ello, es necesario ofrecer a las *WSN* mecanismos que apoyen y mejoren eficientemente la movilidad en sus dispositivos; ello sin afectar las aplicaciones ni el desempeño general de la red.

Debido a dicha movilidad y los beneficios que ello conlleva, las *WSN* han logrado posicionarse en el desarrollo de aplicaciones orientadas al cuidado de la salud (de los Angeles Cosio Leon, Hipolito, y Garcia, 2009), al desarrollar múltiples aplicaciones para el monitoreo de variables que permitan una constante vigilancia del estado de salud de pacientes, siendo en la mayoría adultos mayores. En el trabajo realizado por Virone et al. (2006), se describe y propone una red, en la cual se plantea como objetivo la adquisición de parámetros físicos, siendo algunos de ellos la temperatura y ubicación de los pacientes.

Dada la importancia que la movilidad representa para los usuarios, se exige que puedan desplazarse sin restricciones (por parte de la aplicación, red o sistema) dentro



de un espacio u área controlada, tal y como puede ser un hospital o casa de cuidados. Sin embargo, en este tipo de escenarios las *WSN* sufren restricciones y limitaciones, sobretudo en aspectos de cobertura debido a que este tipo de redes fueron diseñadas para su aplicaciones en entornos de corto alcance; por ello se utilizan tecnologías de redes inalámbricas de área personal como la *IEEE 802.15.4* (10 mts a la redonda, (Man y Committee, 2006)), por lo que a su vez requiere la instalación (en la mayoría de los casos) de múltiples puntos de acceso en la *WSN* para satisfacer las necesidades de cobertura de los usuarios. Otro aspecto a considerar es que los dispositivos móviles tienen la necesidad de poder cambiar su conexión de un punto de acceso a otro cuando se requiera, i.e., al desplazarse por todo el área de cobertura de la *WSN* saliendo del alcance de su punto de acceso a la red; resultando esto en la desconexión del dispositivo móvil de la red debido a que el estándar *IEEE 802.15.4* no cuenta con mecanismos diseñados para iniciar estos procesos de traspasos de red o *handoff* al nuevo punto de acceso por si mismo; no obstante, sí cuenta con herramientas y funciones que pueden utilizarse para permitir el diseño de un mecanismo de *handoff*.

Este proceso es un punto crítico en la continuidad y el éxito de las aplicaciones de monitorización, ya que un *handoff* deficiente puede resultar en la pérdida de información recolectada o el retraso en su entrega al destino. Por ejemplo, si el proceso del mecanismo de *handoff* es lento, puede generar altos tiempo de desconexión y si la aplicación no es consciente de la desconexión puede seguir enviando datos que no podrán ser entregados.

En la literatura existen varios trabajos que han propuesto mecanismos para realizar este proceso de *handoff* (las cuales serán abordadas en el Capítulo 3); éstos difieren en algunos aspectos de operación y en sus objetivos de aplicación, aportando diferentes soluciones que pueden servir de base para nuestro trabajo. Sin embargo, lo que se puede decir con certeza es que la mayoría de éstas se enfocan a redes celulares o redes inalámbricas tradicionales como las *WiFi*, las cuales difieren de las características técnicas y posibilidades de las redes *WSN* que utilizan *IEEE 802.15.4*. Además, las propuestas de mecanismos de *handoff* para redes *WSN* son en su mayoría para redes que no son conscientes de la aplicación y son desarrollados bajo un diseño aislado o por capas; i.e., mecanismos que no pueden utilizar información de otras capas del modelo de red OSI (siglas en inglés de *Open System Interconnection*, Interconexión de Sistema Abierto) dentro del mecanismo de *handoff*, esto provoca una calidad de comunicación limitada y baja optimización de los recursos de la red al utilizar su proceso de *handoff*.

Por ello, en este trabajo se propone un mecanismo para ofrecer un proceso de *handoff* en *WSN* que sea consciente de las condiciones de la red y de las aplicaciones de capas superiores del modelo de red para permitir la movilidad de los nodos sin afectar de sobremanera a la comunicación continua de la red y sus aplicaciones de capa superior. La propuesta misma y el diseño de la red, serán simulados con ayuda del *software NS2* (Simulator, 1989), por lo que todas las características y métricas a considerar han de ser correctamente definidas con el propósito de permitir que su simulación sea lo más cercana a la realidad.

## 1.1. Problemática

El presente proyecto de tesis plantea el uso de una *WSN* dentro de la cual se integran dispositivos fijos y móviles, actuando como puntos de acceso a la red y nodos para la recolección de datos, respectivamente. Sin embargo, para entender de mejor manera el proyecto y entrar en contexto con el mismo, es necesario saber y conocer algunos conceptos en la temática de las redes inalámbricas.

De acuerdo a la Real Academia Española (2014) una red se define como «Conjunto de ordenadores o de equipos informáticos conectados entre sí que pueden intercambiar información». Dicha definición se puede entender de mejor manera al referirse a la figura 1.1, donde se muestran múltiples dispositivos conectados entre sí, y aunque en dicha imagen no se especifica el objetivo de su conexión, puede inferirse que se trata de transferencia de información.



Figura 1.1: Conjunto de computadoras conectadas formando una red.

Existe una característica en las redes que permite clasificarlas en dos grupos diferentes: el modo de conexión en una red. En las redes alámbricas, la conexión entre los

dispositivos de la red es generalmente mediante cables de cobre. Por otro lado, las redes inalámbricas no utilizan medios físicos para su conexión y transfieren su información a través del aire utilizando ondas de radiofrecuencia.

A su vez, las redes inalámbricas poseen distintos tipos de clasificaciones en función de sus múltiples características: alcance de conexión, velocidad de transferencia, topología de conexión, aplicaciones de la red, entre otras. Para el presente proyecto es importante clasificar a las redes inalámbricas en función a su alcance.

Cuando se habla del alcance de una red se hace referencia a la cobertura máxima de la misma, pudiendo tratarse de una distancia desde metros hasta kilómetros. En la figura 1.2 se muestra una clasificación de las redes inalámbricas y se observa claramente que la *WPAN* (siglas en inglés de *Wireless Personal Area Network*, Red Inalámbrica de Área Personal) es la red de menor alcance (alcance menor a 10 metros), aunque algunos autores mencionan que existe un grupo de menor alcance: las *WBAN* (siglas en inglés de *Wireless Body Area Networks*, Redes Inalámbricas de Área Corporal), cuyo alcance y aplicación se limita al cuerpo de una persona (Khan y Yuce, 2012).

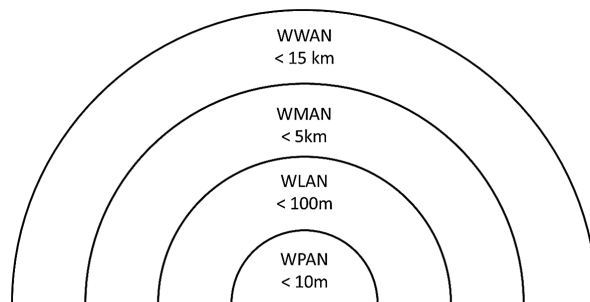


Figura 1.2: Clasificación de las redes inalámbricas en función de su alcance.

De acuerdo a Saranya y Pugazendi (2014), el estándar para las *WPAN* es el IEEE 802.15, cuya frecuencia de operación es 2.4 GHz y su objetivo en particular es el permitir una conexión sin fallas entre los dispositivos de la red y asegurar una transferencia de información continua.

Dentro del grupo de las *WPAN* se encuentran las *WSN*, las cuales generalmente consisten en múltiples nodos que integran sensores, procesadores, fuentes de energía y dispositivos que permiten su comunicación con los demás nodos. Las *WSN* se distinguen por sus múltiples bondades: diseño no intrusivo, bajo consumo de energía, bajo costo, además de la movilidad de sus dispositivos; siendo esta última una de las que más destaca cuando se usan en el entorno de las personas.

Dado que los dispositivos o nodos de una *WSN* son frecuentemente portables y pequeños en tamaño, pueden ser fácilmente acoplados a entidades móviles, como vehículos, robots o personas (Silva et al., 2014). Por ello, las *WSN* se han convertido en poderosas herramientas en aplicaciones militares; por ejemplo en la detección de intrusos o vigilancia de perímetros (García, Ibargüengoytia, García, y Pérez, 2007).

Aprovechando su movilidad, las *WSN* también se han ganado un lugar en el desarrollo de aplicaciones para el cuidado de la salud (de los Angeles Cosio Leon et al., 2009) desarrollando múltiples de ellas (por ejemplo el monitoreo o detección de la ubicación de pacientes) con el objetivo de mantener en constante vigilancia el estado de salud de pacientes, enfocándose en su mayoría hacia el cuidado de los adultos mayores.

En este contexto, Virone et al. (2006) proponen una red con el propósito de adquirir variables físicas de los pacientes como temperatura y posición. Asimismo, Yan, Xu, y Gidlund (2009) implementan un análisis experimental de una aplicación de *WSN* para *e-Health* (Eysenbach, 2001), distribuyendo múltiples nodos en un hogar con el objetivo de proveer la información necesaria a los enfermeros, doctores o encargados para el cuidado de los pacientes.

Es importante destacar que en estas aplicaciones, muchas veces se busca monitorizar a pacientes móviles (ya sean adultos mayores en casas de cuidado o enfermos mentales que vagan por un hospital psiquiátrico), y quienes se trasladan continuamente dentro de un espacio o área de monitorización. En este escenario las *WSN* tienen una cobertura limitada debido a que ésta fue creada para entornos de corto alcance, por ello utiliza tecnologías inalámbricas de área personal como la IEEE 802.15.4, lo cual exige la necesidad de instalar múltiples puntos de acceso en la *WSN* para satisfacer las necesidades de cobertura de los usuarios (Buenrostro-Mariscal et al., 2015).

Por lo tanto, resulta crucial el proveer a las *WSN* de mecanismos que beneficien y mejoren de manera eficiente la movilidad de sus nodos, sin comprometer la operación de las aplicaciones, ni el desempeño general de la red.

Además los dispositivos móviles necesitan cambiarse de un punto de acceso a otro cuando se desplazan por todo el área de la *WSN*, esto resulta en la desconexión forzada del dispositivo de la red ya que el estándar IEEE 802.15.4 no cuenta con un mecanismo diseñado para iniciar un proceso de *handover* o *handoff* (ambos del inglés, traspaso) al nuevo punto de acceso por sí mismo. Aunque por otro lado, el estándar sí cuenta con funciones y procesos que pueden ser utilizados para crear un mecanismo de *handoff*.

Este proceso de *handoff* o cambio de red es un punto crítico en la continuidad y el

éxito de las aplicaciones de monitorización, y no asegura que el nodo móvil se libre de problemas de comunicación.

Un *handoff* deficiente puede resultar en la pérdida de información recolectada o el retraso en su entrega al destino; por ejemplo, la existencia de lentitud en el proceso genera altos tiempo de desconexión; si la aplicación no es consciente de la desconexión puede que continúe enviando datos sin considerar que probablemente no podrán ser entregados. Otro caso se da cuando el nodo móvil decide cambiarse a un punto de acceso a la red que tiene problemas de congestionamiento o saturación de usuarios conectados; entonces el nodo seguirá con problemas para transmitir su información al destino. Otro posible problema es un cambio anticipado a otro punto de acceso, por una lectura temporal de una mala calidad de enlace con su actual punto de acceso (posiblemente ocasionada por problemas de desvanecimiento de la potencia de transmisión debido a obstáculos), que lo obligaría a cambiarse sin necesitarlo; además, si la nueva conexión resulta débil (por estar muy alejado del nuevo punto de acceso) el nodo móvil tendrá que cambiarse nuevamente al punto de acceso más cercano (que por lo general será el punto donde estaba originalmente conectado), provocando un problema de cambios innecesarios y rebotes llamado efecto *ping-pong*. Por esta razón, un nodo móvil necesita saber cuándo cambiarse de red, cómo ejecutar el *handoff*, y a cuál punto de acceso dentro de la red es conveniente cambiarse.

En la literatura existen varios trabajos que han propuesto mecanismos para realizar este proceso de *handoff* (las cuales serán abordadas detalladamente en el capítulo *Trabajos Relacionados*); éstos difieren en algunos aspectos de operación y en sus objetivos de aplicación, aportando diferentes soluciones que pueden servir de base para este trabajo de tesis. Sin embargo, la mayoría de estos trabajos y soluciones están enfocados hacia redes celulares o redes inalámbricas tradicionales, las cuales difieren de las características técnicas y posibilidades de las redes *WSN* las cuales, como se menciona anteriormente, generalmente utilizan *IEEE 802.15.4*.

Por ejemplo, en el trabajo realizado por Gu, Bae, y Chung (2010) se desarrolla un mecanismo para la predicción del movimiento de un nodo móvil, para que con ello el sistema pueda inferir hacia dónde se está dirigiendo un nodo. Además de esta predicción, el nodo realiza comparaciones entre la calidad de la señal recibida de la *BS* a la que pertenece actualmente y contra la de otras candidatas a ser su nueva *BS*. Sin embargo; este mecanismo está desarrollado para redes con tecnología celulares, por lo que es posible incluso que el nodo móvil pertenezca a dos celdas simultáneamente. Esto

no es posible en redes que trabajan bajo el estándar *IEEE 802.15.4*.

Además, las propuestas de mecanismos de *handoff* para redes *WSN* son en su mayoría para redes que no son conscientes de la aplicación y son desarrollados bajo un diseño tradicional aislado o por capas (mecanismos que no pueden utilizar información de otras capas del modelo de red *OSI* (Yemini, 1993) dentro del mecanismo de *handoff*), lo cual provoca una calidad de comunicación limitada y baja optimización de los recursos de la red al utilizar su proceso de *handoff*.

Por ejemplo, de acuerdo a Min Liu, Zhongcheng Li, Xiaobing Guo, y Dutkiewicz (2008), los algoritmos tradicionales de *handoff* generalmente basan su mecanismo en una comparación de umbrales entre una o más métricas específicas para tomar la decisión de ejecutar el traspaso de red. Donde algunas de las métricas más comunes son el *RSSI* (siglas en inglés de *Received Signal Strength Indicator*, Indicador de Fuerza de Señal Recibida), *SIR* (siglas en inglés de *Signal-to-Interference Ratio*, Relación Señal a Interferencia) y el BER (siglas en inglés de *Bit Error Rate*, Tasa de Error Binario).

Este tipo de criterios son limitados y no consideran aspectos e información relevante localizada en otras capas que pueden resultar de utilidad para la toma de decisiones de *handoff*.

Lo anterior refleja la problemática ha abordar en este trabajo de tesis: instrumentar un mecanismo que permita la movilidad de los nodos en una *WSN*, que cuente con un grado de conciencia o inteligencia en su diseño para ejecutar el *handoff* de forma eficiente (evitando desconexiones y traspasos abruptos e innecesarios entre dispositivos móviles en *WSN*) y que además considere el tipo de aplicación presente en la red, violando el esquema de diseño de protocolos por capas mediante un diseño *crosslayer* (interacción entre múltiples capas del modelo de red) (Srivastava y Motani, 2005).

## 1.2. Objetivos

En este trabajo se propone el diseño y simulación de un mecanismo de *handoff* en *WSN* que sea consciente de las condiciones de la red y de las aplicaciones de capas superiores para permitir la movilidad de los nodos sin afectar de sobremanera la comunicación continua de la red y sus aplicaciones de capas superiores. Ello mediante la adaptación del protocolo de *handoff WSN-HaDaS* (Buenrostro-Mariscal et al., 2015), expandiendo las consideraciones establecidas en él con el objetivo de obtener un mejor resultado al brindarle una mayor conciencia de su entorno de red.

### 1.2.1. Objetivo general

Diseñar y simular un mecanismo de *handoff* bajo optimización *crosslayer* que permita la comunicación continua entre los dispositivos móviles en una *WSN*.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar sobre las diferentes clasificaciones y técnicas del *handoff* tradicional y sobre el diseño de mecanismos bajo optimización *crosslayer*.
- Definir las funciones y parámetros a utilizar dentro del mecanismo de *handoff* para solucionar el problema del traspaso.
- Diseñar un mecanismo de *handoff crosslayer* según lo establecido en los requerimientos del objetivo anterior.
- Diseñar el marco de evaluación para simular el comportamiento del mecanismo de *handoff crosslayer* propuesto en una *WSN* con dispositivos móviles.

## 1.3. Justificación

El desarrollo del presente trabajo abonará al actual avance tecnológico en el área de las redes inalámbricas con una nueva opción para la problemática del traspaso de red mediante un mecanismo de *handoff* diseñado bajo optimización *crosslayer* aplicado a *WSN*, beneficiando de esta manera al desarrollo de los avances tecnológicos orientados hacia *WSN* y su movilidad.

Como se ha mencionado anteriormente, la movilidad en *WSN* brinda una amplia gama de posibles aplicaciones; entre ellas, actualmente se ha destacado el creciente uso hacia el cuidado de la salud, equipando a los pacientes con nodos sensores que monitorizan sus signos vitales y transmiten los datos recolectados hacia un nodo final para el monitoreo remoto de la salud de las personas.

De acuerdo a Arnon, Bhastekar, Kedar, y Tauber (2003), la implementación de *WSN* en ambientes hospitalarios resulta beneficioso tanto para los pacientes como para el cuerpo médico puesto que puede reducir tiempos de instalación del paciente y sumando tiempos de monitorización de su salud. También menciona que, desde el punto de vista de redes inalámbricas, existen múltiples problemáticas debido a la naturaleza de las señales y el ambiente en que se encuentran, como *multipath*, interferencias y disturbios en la señal. Asimismo, plantea los requerimientos de red con respecto a las señales o parámetros que se estén monitorizando del paciente.

Por ello, el mecanismo que se propone impactará benéficamente en este sector, ya que el proyecto está enfocado hacia el área de cuidados a la salud en pacientes de edad avanzada (geriatría), tema de gran atención en México, puesto que en los próximos años la cantidad de personas de edad avanzada tendrá un crecimiento radical y en consecuencia existirá una mayor necesidad de atención hacia este grupo social (Wong, Espinoza, y Palloni, 2007).

Con este mecanismo de *handoff* se podrán habilitar nuevas aplicaciones de salud, para equipar hospitales, centros de cuidados y hogares con dispositivos fijos ubicados estratégicamente, y nodos móviles colocados en los pacientes para realizar la monitorización de signos vitales sin limitar su movilidad dentro de dichos espacios y evitar la desconexión de los usuarios de la red.

Este tipo de aplicaciones demanda una comunicación inteligente, pues es utilizada para transportar datos críticos (parámetros de salud de pacientes), por ello este mecanismo está pensado para que ofrezca un cierto grado de conciencia del entorno y de la aplicación o el tipo de tráfico que transporta, con el propósito final de ejecutar dicho mecanismo de una manera eficiente y oportuna a las necesidades de las aplicaciones; Posicionando, con ello, en un buen nivel la utilidad esperada del mecanismo de *handoff* propuesto con respecto a las que actualmente se ofrecen.

Por lo tanto, crear este tipo de mecanismos con las expectativas propuestas, representa un reto académico para el proponente, puesto que requiere analizar y definir las capas del modelo de redes que se deben utilizar, qué procesos debe ejecutar dicho



mecanismo, qué parámetros considerar y cómo debe integrarse todo lo anterior en un diseño *crosslayer*, con el fin de crear un mecanismo propio de *handoff*. Además, se debe diseñar el escenario de operación de forma adecuada para simularlo con parámetro reales que puedan generar resultados válidos para su implementación en la vida real.

De acuerdo a lo anterior, se toma como base o punto de partida la investigación y trabajo desarrollado en el protocolo de *handoff WSN-HaDaS* (mencionado en la sección 1.2). Este protocolo ya ofrece características de diseño *crosslayer*, con ello se infiere que posee una mayor conciencia del entorno de aplicación dado que no limita sus decisiones a parámetros de una sola capa del modelo de red *OSI*. Bajo este esquema, el protocolo *WSN-Hadas* demostró presentar tiempos de retardo reducidos dado que se implementa dentro de un mecanismo de comunicación estándar. Por ello, al mejorar este protocolo, la nueva propuesta podrá ofrecer un aún mayor grado de conciencia del entorno y la aplicación.

## 1.4. Preguntas de investigación

De acuerdo a la problemática anteriormente planteada, así como a los objetivos enlistados, se proponen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué capas del modelo de red deben ser incluidos en el mecanismo de *handoff crosslayer*?
- ¿Qué parámetros y/o funciones deben ser considerados en mayor medida para la elaboración de un mecanismo de *handoff* que provea movilidad en *WSN*?
- ¿Qué módulos deben formar el protocolo de *handoff* para que cumpla con las funciones de transferencia entre nodos móviles y permita la continuidad de la comunicación?

## 1.5. Limitaciones y suposiciones

El proyecto limita sus alcances a la simulación del mecanismo de *handoff crosslayer* en el *software Network Simulator 2 (NS2)* (Simulator, 1989), pues no se cuenta con los recursos necesarios para la implementación en físico del sistema planteado.

Asimismo, puesto que se trata de un proyecto que da continuidad a la investigación realizada y publicada del trabajo de Buenrostro-Mariscal et al. (2015), se dan por aceptados los resultados obtenidos en él. Además, estos resultados son tomados como base para la presente investigación, dado que dicho trabajo ya ha sido evaluado en distintas etapas para su publicación.

## 1.6. Metodología

Con el propósito de cumplir con cada uno de los objetivos descritos anteriormente, se ha propuesto la metodología mostrada en la figura 1.3, como camino a seguir para el desarrollo de esta investigación:

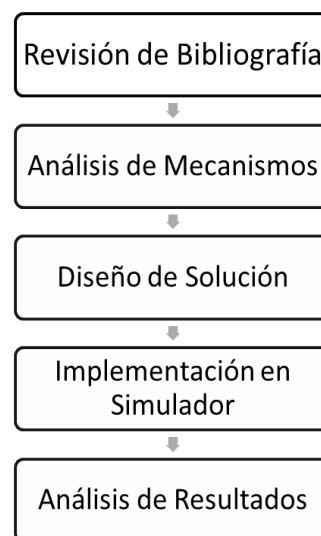


Figura 1.3: Metodología de investigación propuesta

De acuerdo a dicha metodología, la estrategia a seguir se describe de la siguiente manera:

- **Revisión de Bibliografía:** En esta etapa se realizó la documentación sobre el tema, así como la comprensión y familiarización de conceptos.
- **Análisis de Mecanismos:** En esta fase se analizaron los trabajos relacionados al tema, con énfasis especial hacia el protocolo base, *WSN-HaDaS*.
- **Diseño de Solución:** Esta etapa corresponde a las actividades realizadas para el

diseño del mecanismo propuesto. Esto con base a las conclusiones obtenidas de la etapa anterior.

- Implementación en Simulador: Una vez diseñada la propuesta, se prosiguió a su implementación en el simulador.
- Análisis de Resultados: Finalmente, durante esta etapa se analizaron los resultados obtenidos en la etapa anterior, de acuerdo a métricas y casos de estudio definidos.

## 1.7. Organización del documento

En esta sección se hace mención y breve descripción acerca de la estructura de este documento de tesis en general. Dicha estructura se describe a continuación.

El Capítulo 1 da introducción al trabajo de Tesis, mencionando la problemática, objetivos, justificación, preguntas de investigación, limitaciones y suposiciones, y finalmente la metodología del proyecto.

El Capítulo 2 comprende una introducción a conceptos como el *handoff*, las *WSN* y el diseño *crosslayer*; temas e información relacionada a la problemática a resolver y objetivos propuestos. Esto con el propósito de desarrollar un marco teórico concreto y claro que sustente este proyecto de tesis.

En el Capítulo 3 se detallan distintos trabajos e investigaciones relacionadas al área de enfoque de este trabajo de Tesis, así como descripciones sobre sus similitudes y diferencias. Este estudio del estado del arte permite analizar soluciones actuales, así como encontrar y proponer mejoras.

El Capítulo 4 presenta el protocolo propuesto de *handoff* para resolver la problemática planteada. Asimismo se presenta su diseño, desarrollo e implementación en el simulador.

En el Capítulo 5 se evalúa y analiza el desempeño del protocolo propuesto de acuerdo a la simulación. Para lo cual, se describe el desarrollo de simulación, escenario, métricas, casos de estudio y resultados obtenidos.

Finalmente, en el Capítulo 6 se concluye la Tesis haciendo mención a conclusiones y recomendaciones generales asociadas al trabajo desarrollado en este proyecto. Asimismo, se hace énfasis en los beneficios obtenidos con la aportación de este trabajo de tesis, y propone trabajo a futuro dentro del contexto de este proyecto.

# Capítulo 2

## Esquema de fundamentos

En este capítulo se describen los avances y logros realizados en el área de redes, enfocados hacia mecanismos de *handoff*.

Para ello se muestra, en sus diferentes secciones, aspectos relacionados al tema: definiciones, clasificaciones, problemáticas e importancia; así como la estrategia de diseño *crosslayer* como concepto. Con esto se pretende colocar en contexto al lector, presentando el estado del arte actual; validando a su vez, la innovación del proyecto propuesto.

### 2.1. Transferencia de red (*handoff*)

El término *handoff* o *handover*, según el contexto, tiene un significado distinto; sin embargo tiende hacia una misma acción. El *Macmillan Dictionary* (2015) define al *handoff* como la acción de dar la responsabilidad sobre algo a alguien más. Esto es, la responsabilidad de una entidad pasa a ser ahora de otra entidad. Ejemplo de ello es el *handoff* en medicina, en donde se refiere a la transferencia de responsabilidad de un doctor, equipo o clínica sobre un paciente hacia otro doctor, equipo o clínica (Dunn y Murphy, 2008).

Ahora, en el caso de las redes inalámbricas, el «*handoff*», «*handover*», «traspaso» o «transferencia de red» se refieren al movimiento de un nodo móvil entre dos puntos de acceso, esto es, el proceso de terminar una conexión existente y obtener una nueva conexión (Makaya y Pierre, 2008). Dicho de otra manera: el *handoff* es la transición o traspaso de la señal de transmisión entre diferentes celdas. En un principio, cada

terminal móvil (nodo) está, en todo momento, dentro del rango de al menos un *AP* (siglas en ingles de *Access Point*, Punto de Acceso) de la red o *BS* (siglas en ingles de *Base Station*, Estación Base). Entonces, *handoff* es el mecanismo mediante el cual una conexión activa entre un nodo o *host* (del inglés, anfitrión) móvil y una terminal o *host* correspondiente es transferida desde un *AP* a la red fija u otra (Pahlavan et al., 2000).

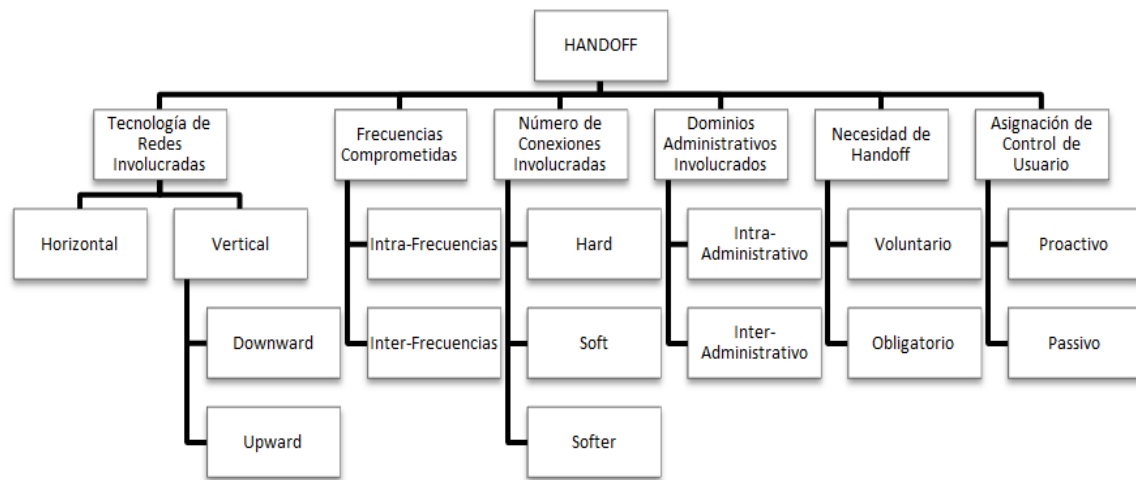
Estos mecanismos de *handoff* deben cumplir con características de acuerdo a la aplicación o tarea en ejecución, pues existen diferentes requerimientos en aplicaciones de salud de pacientes críticos que en aquellas de vigilancia de territorios; sin embargo, algunas de las características o requerimientos comúnmente establecidos son una baja latencia en la red y una baja pérdida de paquetes, por mencionar algunos.

Como se ha mencionado anteriormente, los mecanismos de *handoff* existen en aquellas redes inalámbricas en las cuales sus miembros poseen capacidades para cambiar de posición y se les permite ejecutar dicho movimiento, llegando incluso a salir del rango de cobertura de sus celdas o *APs*. Dada esta descripción, se cubren diferentes tecnologías de comunicación inalámbricas en las que existen los mecanismos de *handoff*, como aquellas tecnologías de comunicación celular, de área local o de área personal (por mencionar algunas).

## 2.2. Clasificación del *handoff*

Así como diferentes tecnologías de comunicación poseen mecanismos de *handoff*, así también existen diferentes clasificaciones para estos tipos de mecanismos. Esta clasificación se ha realizado en función de varios factores; algunos de ellos pueden apreciarse en la figura 2.1, basada en (Nasser, Hasswa, y Hassanein, 2006).

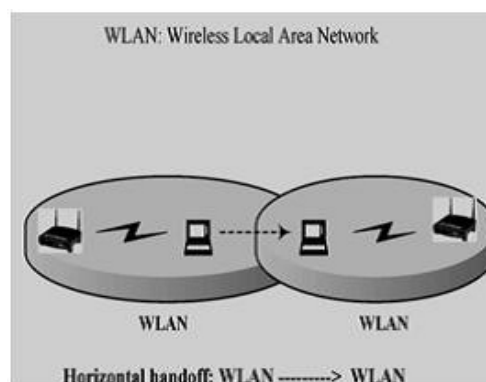
Para los propósitos del presente documento basta con explicar solo algunas de las clasificaciones, de acuerdo a: la tecnología de redes involucrada, número de conexiones involucradas y al control del *handoff*.

Figura 2.1: Clasificación del *handoff*.

### 2.2.1. Redes involucradas

De acuerdo a Van Quang, Prasad, y Niemegeers (2012), existen dos tipos de mecanismos de *handoff* si se clasifican en función a los tipos de tecnologías de comunicación que se encuentran involucradas en la red: *handoff* horizontal y *handoff* vertical.

- Horizontal: El *handoff* horizontal existe cuando un nodo móvil se encuentra saliendo de los límites de cobertura de un *BS*, pero a su vez entra al área de cobertura de otra *BS* del mismo sistema trabajando con la misma tecnología de comunicación, por ejemplo celular 4G (Van Quang et al., 2012). Este proceso se muestra en la figura 2.2, tomada de (Siddiqui y Zeadally, 2008).

Figura 2.2: Horizontal *handoff*.

- Vertical: A diferencia del horizontal, un *handoff* vertical ocurre cuando un nodo cambia su conexión de una *BS* a otra *BS* trabajando con diferente tecnología de comunicación inalámbrica (Nasser et al., 2006). Por ejemplo, el cambio de una señal de transmisión de una *BS* IEEE 802.11b a una celular; como se muestra en la figura 2.3, tomada de (Siddiqui y Zeadally, 2008).

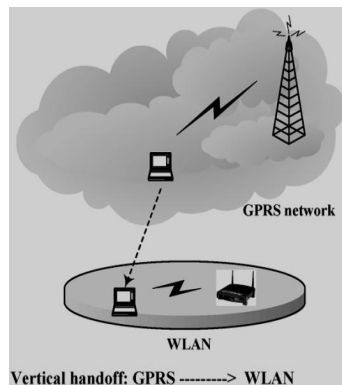


Figura 2.3: Vertical *handoff*.

Sin embargo, otros autores describen una tercera clasificación: el *handoff* diagonal. Aunque en trabajos como el de Stuedi y Alonso (2005) se da una visión diferente al *handoff* (donde se visualiza desde el aspecto de cambios de ruta y/o capa MAC), el concepto final es el mismo.

- Diagonal: Un mecanismo de este tipo existe cuando se ejecutan en simultaneidad, mecanismos verticales y horizontales. Esto puede ocurrir al cambiar de una tecnología a otra incluida dentro del mismo estándar, por ejemplo cambiar de IEEE 802.11p a IEEE 802.11b (Ahmed, Boulahia, y Gaïti, 2014).

Un resumen representativo de las clasificaciones antes mencionadas se muestra en la figura 2.4, basada en (Ahmed et al., 2014).

### 2.2.2. Número de conexiones

Otro tipo de clasificaciones del *handoff* es en función al número de conexiones que un nodo puede mantener o establecer. De acuerdo a Nasser et al. (2006), existen tres tipos.

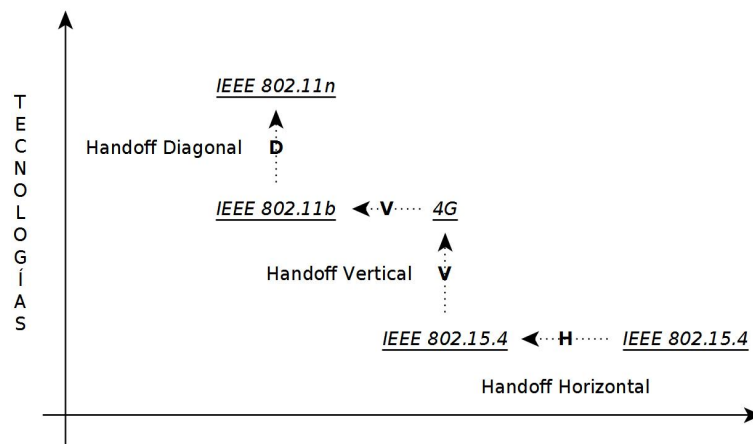


Figura 2.4: Clasificación del *handoff* según las redes involucradas.

- *Hard*: Se dice que en un *hard handoff*, un nodo libera el enlace que tiene con una *BS*, para establecer una nueva conexión hacia una nueva *BS*. Este mecanismo puede observarse en la figura 2.5, tomada de (Chowdhury y Gregory, 2012). Esto define que a un nodo móvil le es imposible establecer más de una sola conexión a una *BS* en todo momento. A este tipo de *handoffs*, también se les hace llamar conexiones *break-before-make*, que en inglés describe que es necesario romper la conexión actual antes de establecer una nueva (Nasser et al., 2006).

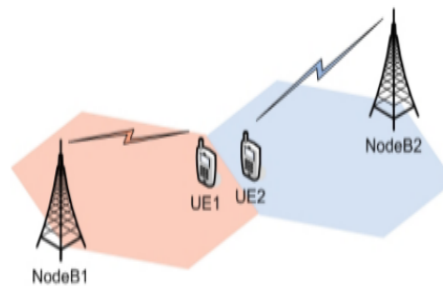


Figura 2.5: Mecanismo tipo *hard handoff*.

- *Soft*: Contrario a un mecanismo *hard handoff*, un tipo *soft* describe que los enlaces o conexiones son agregados o liberados de tal manera que siempre existe al menos un enlace del nodo hacia la *BS* (Nasser et al., 2006). Este tipo de *handoff*, puede ser observado en la fig 2.6, tomada de (Chowdhury y Gregory, 2012). Para ello, debe tenerse en cuenta que el nodo móvil debe estar moviéndose entre el área de



cobertura de dos celdas. A este tipo de conexiones se les llama también *make-before-break*, puesto que describen la capacidad de poder establecer una conexión antes de liberar otra, dando a entender que se pueden disponer de al menos dos conexiones simultáneas del nodo a la *BS* (Ramachandran, Rangarajan, y Lin, 2006).

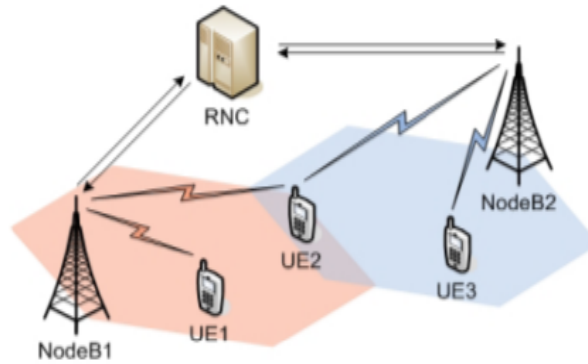


Figura 2.6: Mecanismo tipo *soft handoff*.

- *Softer*: Un mecanismo de *handoff softer* es muy similar al *soft*, con la diferencia de que el nodo móvil cambia conexiones entre enlaces de radio que pertenecen al mismo *AP*. Dicho de otra manera, la principal diferencia entre un mecanismo tipo *soft* y uno tipo *softer* reside en que el nodo móvil está ubicado dentro del área de cobertura de dos sectores de un mismo *AP* o *BS* (Chowdhury y Gregory, 2012), tal y como se muestra en la figura 2.7, tomada del trabajo del mismo autor.

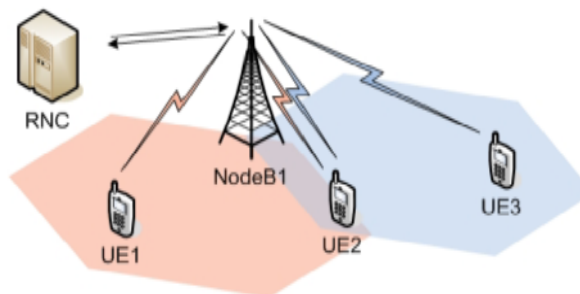


Figura 2.7: Mecanismo tipo *softer handoff*.

### 2.2.3. Control del *handoff*

Un aspecto muy importante sobre los mecanismos de *handoff* es la toma de decisiones sobre cómo y cuándo ejecutar dichos mecanismos. Ya que, sin importar el tipo de *handoff* del que se trate, la decisión de ejecución del mecanismo de *handoff* (Zdarsky y Schmitt, 2004) reside en una entidad de red o en el nodo móvil mismo.

De acuerdo a Pahlavan et al. (2000), es posible clasificar al *handoff* con base en dónde se origina el mecanismo de decisión o control de *handoff*.

Entonces, una tercera clasificación de los mecanismos de *handoff* define que éstos pueden ser:

- Controlado-por-Móvil,
- Controlado-por-Red, o
- Asistido-por-Móvil.

Entonces, el mecanismo de decisión puede ubicarse en una entidad de la red (como en voz celular) cuando se es *controlado-por-red*; o en el mismo nodo móvil (como en el caso de WLANs) cuando es *controlado-por-móvil*. Para ejemplificar un caso *asistido-por-móvil* puede tomarse como referencia el caso de tecnologías celulares como GPRS, donde la información enviada por un nodo móvil puede ser utilizada por una entidad de red para tomar la decisión de *handoff* (Pahlavan et al., 2000).

Sin embargo, existen otros trabajos que agregan un cuarto miembro a esta clasificación.

- Asistido-por-Red

En este nuevo caso, la red reúne información que le puede ser de utilidad al nodo móvil para ejecutar un mecanismo de *handoff* (Kassar, Kervella, y Pujolle, 2008).

En resumen, en un tipo *controlado-por-red* la entidad de red es quien lleva el control principal sobre el *handoff*. En un tipo *controlado-por-móvil*, el nodo móvil se ve obligado a tomar sus propias decisiones con base en mediciones o análisis propios. En un *handoff asistido-por-móvil*, información o mediciones tomadas por el nodo móvil sirven de apoyo y son usadas por la red. Finalmente, cuando la red es quien brinda información al nodo móvil para que éste las utilice en su decisión de *handoff*, se trata de un mecanismo tipo *asistido-por-red*.

Entonces, tal y como se indica en cada caso, en la decisión del proceso pueden intervenir el nodo móvil, entidades de la red en la que se da el cambio de conexión, y/o tanto la entidad de red como el nodo móvil.

## 2.3. Problemáticas que conlleva el *handoff*

De acuerdo a Pahlavan et al. (2000), existe una gran cantidad de temas relacionados a los mecanismos de *handoff*, como se muestra en la figura 2.8, basada en el mismo artículo, estos temas pueden clasificarse en dos categorías:

- **Arquitectura:** Son aquellas cuestiones en las que se consideran temas relacionados con la metodología, control y elementos de *software* o *hardware* involucrados en el nuevo ruteo de la conexión.
- **Tiempo de decisión:** Estos temas se refieren a los algoritmos, métricas usadas por los mismos, y las metodologías de evaluación del desempeño.

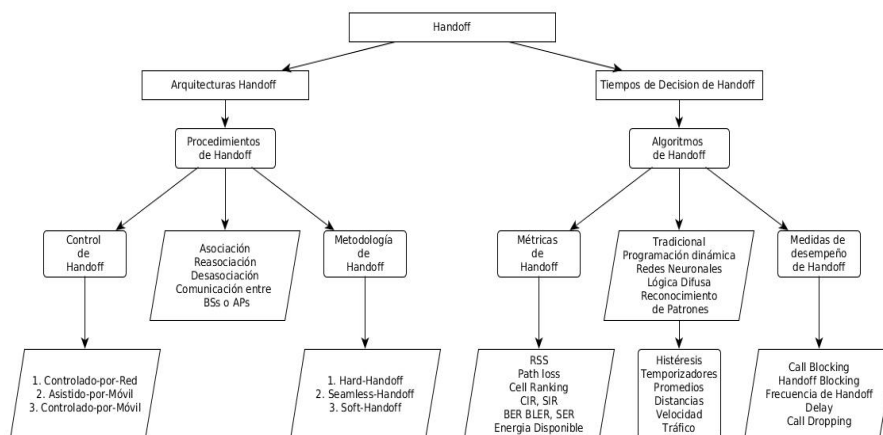


Figura 2.8: Temas importantes involucrados en un mecanismo de *handoff*.

Sin embargo, otros autores consideran que las problemáticas que conlleva el *handoff* generalmente repercuten en dos cuestiones: el cómo y el cuándo se han de ejecutar estos mecanismos.

Por ejemplo McNair y Fang Zhu (2004) dicen que durante un proceso de *handoff*, la decisión sobre éste es el paso más importante, pues afecta la comunicación del nodo móvil. Una decisión de *handoff* incorrecta puede degradar la calidad de servicio del

tráfico de información e incluso romper con la comunicación actual, pues idealmente un nodo móvil debe considerar tantos aspectos del entorno como le sea posible; por ejemplo, cuál red ofrece una mayor cobertura, cuál red ofrece un menor congestionamiento y cuál red otorga, en general, mayores beneficios. Además debe considerar cuál es el momento adecuado para ejecutar el mecanismo de *handoff*, pues realizar un traspaso de red en un momento inoportuno puede ocasionar que se sufra de problemas como el llamado efecto *ping-pong*, así como el consumo innecesario de energía y/o pérdida de paquetes.

El efecto *ping-pong* es un fenómeno muy común en las redes móviles, éste puede causar ineficiencia y degrado del desempeño de la red. Parámetros tales como cobertura, área de ubicación del usuario y su movimiento y velocidad son algunas de las principales consideraciones que pueden ocasionar la existencia del efecto *ping-pong* (Ghanem, Alradwan, Motermawy, y Ahmad, 2012). Esta situación es común, dado que algunos algoritmos utilizan el *RSSI* como criterio de decisión para la ejecución de los mecanismos de *handoff*, y el utilizar estas mediciones instantáneas provoca el fenómeno de ejecución frecuente de *handoffs* (X. D. Yang, Song, Owens, Cosmas, y Itagaki, 2004). En otras palabras, se trata de traspasos de red innecesarios durante un corto intervalo de tiempo (Gu et al., 2010).

Con el fin de otorgar una idea más clara del efecto *ping-pong*, suponga el caso de un nodo móvil perteneciente a una red *A* y ubicado justamente dentro del área de cobertura de dos redes *A* y *B* como se muestra en la figura 2.9, en ese momento a causa de una pobre decisión de *handoff*, el nodo decide cambiarse a la red *B*. A partir de este momento el nodo entra en conflicto de decisión, pues ahora intenta regresar a formar parte de la red *A* debido al mismo criterio tomado anteriormente. Este proceso puede llegar a ejecutarse múltiples veces si no se cuenta con una conciencia del entorno para el nodo móvil que le permita llevar a cabo mejores decisiones de *handoff*. Esto deja claro que los mecanismos de decisión para ejecutar un *handoff* requieren un criterio más amplio para tomar dichas decisiones, y no basta con una simple medición continua del *RSSI*.

En resumen, dado que la ejecución frecuente de los mecanismos de *handoff* ocasiona grandes consumos innecesarios de energía (críticos sobre todo para nodos cuyas fuentes de poder son limitadas, como baterías), el efecto *ping-pong* debe ser reducido al mínimo posible durante la etapa de decisión de *handoff* (X. D. Yang et al., 2004).

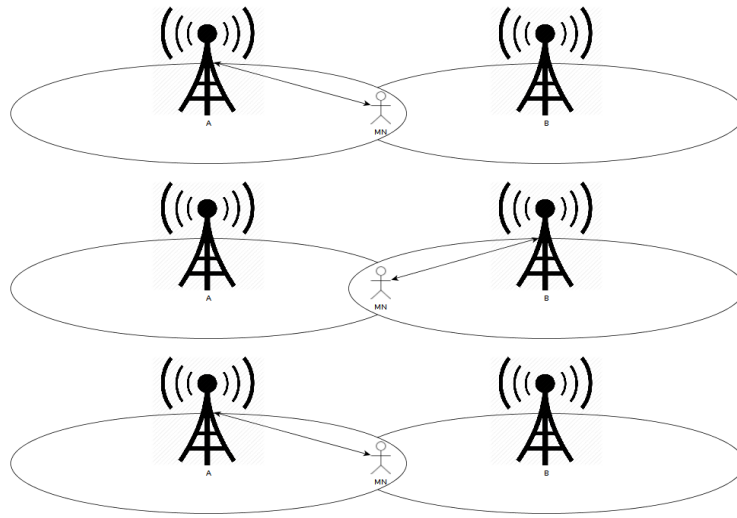


Figura 2.9: Ejemplo del efecto *ping-pong* en la ejecución de un mecanismo de *handoff*.

Por esta razón los nuevos algoritmos como los presentados por Fotouhi, Zuniga, Alves, Koubaa, y Marron (2012), Lee, Kim, Jeong, y Kang (2011) y Liu, Harn, y Chang (2015) cuyo criterio de decisión se basa en la lectura del RSSI, utilizan diferentes métodos y algoritmos sobre estas lecturas para permitir una posterior ejecución del mecanismo de *handoff*. Asimismo algunos parámetros adicionales como margen de histéresis, temporizadores de asentamiento, y promedios, deben considerarse con el objetivo de evitar este efecto (Pahlavan et al., 2000).

## 2.4. Importancia del *handoff*

Buscando dar solución a las necesidades de movilidad que presentan los usuarios de redes inalámbricas, se han desarrollado técnicas como el *handoff*, que permiten a los usuarios de los sistemas de comunicaciones inalámbricas desplazarse libremente entre puntos de acceso de la red basadas en distintas tecnologías inalámbricas (Villar, 2009).

El uso de la telefonía celular, los dispositivos *wearables* (del inglés, vestibles) y los dispositivos móviles (*laptops*, *gadgets*) son cada día más comunes y generales, puesto que muchos avances y desarrollos tecnológicos se han enfocado hacia aplicaciones con estos dispositivos (Gruebler y Suzuki, 2014), (Höflinger et al., 2012), (Berghaus y Back, 2015). En todas estas aplicaciones, siempre se busca cumplir con las expectativas del cliente, y satisfacer sus necesidades; por ejemplo en la telefonía celular, una

buena administración de los mecanismos de *handoff* conllevan a una mejor experiencia en llamadas (menor cantidad de interrupciones, cortes imperceptibles o nulos para el usuario).

A continuación, se enlistan algunas de las razones por las cuales es necesario y resulta provechoso integrar mecanismos de *handoff* al sistema:

- Evitar el término de aplicaciones cuando el nodo móvil se retira del área de cobertura de una celda y se adentra al área de cobertura de otra.
- Cuando se tienen celdas saturadas, otorga la capacidad de conectarse a otra celda.
- Cuando el comportamiento de desplazamiento del nodo es variable.
- Cuando existe interferencia en la red actual.

El integrar mecanismos de *handoff* dentro del sistema de red, permite hacer un amplio uso de la infraestructura desplegada, y en algunos casos, optimizar el acceso de los distintos usuarios de acuerdo con los tipos de servicios que estos requieren. El objetivo principal de la integración de estos mecanismos es que el usuario no detecte mayores cambios al ejecutarse el *handoff*; así como buscar que las redes permanezcan funcionando con la misma eficiencia antes, después y durante el proceso de *handoff*.

Asimismo, conforme se desarrollan nuevos avances en el tema, estos mecanismos se vuelven cada vez más rápidos e imperceptibles para el usuario (Wu Baojiang, 2011), lo que resulta en un problema menos para el usuario móvil al no tener que preocuparse por acceder a una nueva red en situaciones de movilidad entre celdas o *APs*. Con lo anterior, se ha dejado muestra que el incluir mecanismos de *handoff* en la red proporciona ventajosas características.

## 2.5. Estrategia de diseño *crosslayer*

En la actualidad, existe una gran variedad de investigaciones y desarrollos de protocolos y aplicaciones orientadas a las *WSN* (Melodia, Vuran, y Pompili, 2006); sin embargo, la mayoría de ellas han sido desarrolladas bajo el concepto tradicional de protocolos por capas del modelo *OSI* (Zimmermann, 1980).

Dicho concepto define siete capas que describen cómo interaccionan las aplicaciones que se ejecutan en dispositivos de red, las cuales pueden apreciarse mejor en la figura

2.10; asimismo es posible observar que las primeras cuatro capas del modelo se agrupan dentro del llamado *stack* (del inglés, pila) de Protocolos de Comunicaciones; puesto que dichas capas son las encargadas de la comunicación por el medio físico, así como de la interacción entre los mecanismos de transmisión extremo a extremo (Akyildiz y Vuren, 2010).

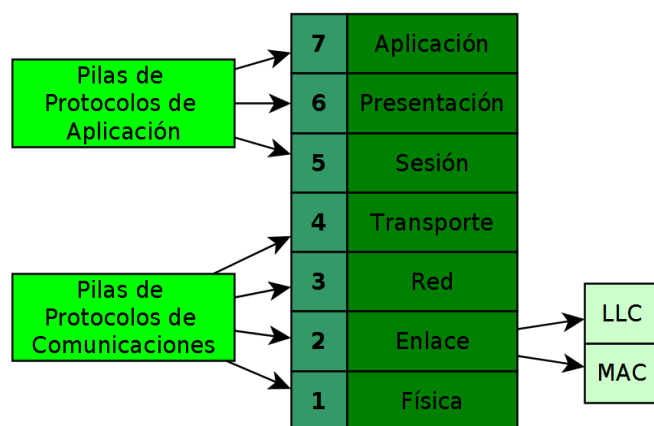


Figura 2.10: Distribución de capas del Modelo *OSI*.

De acuerdo a Buenrostro-Mariscal (2014), el trabajar bajo este esquema tradicional de un diseño modular por capas, brinda principalmente las siguientes ventajas:

- Cada módulo define claramente sus funciones y procedimientos propios para habilitar la independencia de capa.
- Facilita la implementación y mantenimiento.
- La estandarización asegura que exista una inter-operabilidad entre los variados sistemas que se encuentran integrados o incorporados a la red; i.e, todos los elementos de la red han respetado el mismo diseño modular y pueden operar entre ellos.

Aunque este mismo esquema padece de deficiencias, limitaciones o restricciones (Buenrostro-Mariscal, 2014), algunas de las cuales se muestran a continuación:

- El modelo de capas *OSI* fue diseñado para redes cableadas y estáticas, por lo que el dinamismo (movilidad y desconexiones/conexiones de los nodos) de las redes inalámbricas es una característica no prevista.

- Los dispositivos de una red inalámbrica tienen generalmente recursos limitados (energía, procesamiento, almacenamiento), por lo que sus protocolos de comunicaciones deben adaptarse continuamente a su entorno. Un diseño tradicional de capas no permite esta adaptación periódica.
- El trabajar por capas independientes y cerradas entre sí, limita la conciencia del entorno de la red por parte de los nodos.
- El mantener este esquema estrictamente por capas, limita mejoras e innovación a los protocolos de comunicación para las condiciones y requerimientos actuales de una red inalámbrica.

Aún cuando estos desarrollos han alcanzado un gran desempeño en términos de métricas relacionadas a cada una de las capas individuales, no han sido optimizadas en conjunto para maximizar el desempeño general de la red (Melodia et al., 2006). Asimismo, se menciona que el diseño de protocolos bajo este tipo de modelos no son apropiados para obtener funcionalidad eficiente en redes inalámbricas (Edirisinghe y Zaslavsky, 2014; Wang y Abu-Rgheff, 2003; Stine, 2007). Por ello han surgido nuevas propuestas que permiten la relación y el trabajo en conjunto de las distintas capas y proponen el desempeño adaptativo y eficiente de las mismas al compartirse información relevante entre ellas. Éstas han sido llamadas *estrategias de diseño crosslayer* y su comportamiento puede apreciarse en la figura 2.11, tomada de (Bisnik, 2005).

Investigadores como Fu, Xiao, Deng, y Zeng (2014) determinan que el establecer una estrategia de trabajo *crosslayer* asegura un mejor desempeño puesto que:

- No rompe con la estructura estandarizada por capas del modelo de red, sino que permite la interacción entre capas no adyacentes.
- Permite que las capas compartan información (e.g., parámetros, estado actual, etc.) propia a las demás capas, para que ellas puedan ajustar su comportamiento.
- Al controlar el envío de información de una capa a otra, es posible compensar el desempeño y confiabilidad de la red (incremento de *throughput*, reducción de latencia y del *BER* (siglas en inglés de *Bit Error Rate*, Tasa de Error de Bits)).

Es necesario entender y dejar en claro que el diseño *crosslayer* no es equivalente a sustituir el modelo por capas. Dado es el caso del trabajo realizado por Braden, Faber,



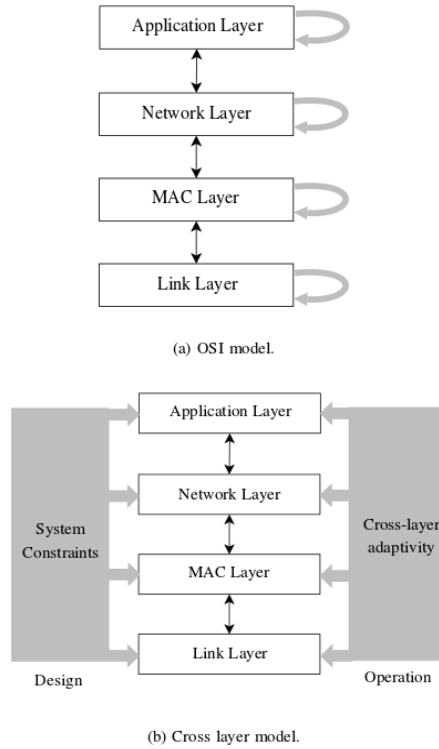


Figura 2.11: Diferencia de operación y filosofía entre el modelo *OSI* tradicional y *cross-layer*.

y Handley (2003), quienes desarrollaron un esquema que sustituye al modelo por capas, y en su lugar proponen uno basado en roles. En el cual, se tuvieron que rediseñar las cabeceras de los paquetes de datos que se envían de una capa a otra, o en este caso de un rol a otro rol, entre demás acciones. Este tipo de desarrollos representan una mayor dificultad de diseño e implementación en comparación del diseño *crosslayer*, y conceptualmente hablando no representan un diseño bajo el esquema *crosslayer*.

En su investigación, Srivastava y Motani (2005) plantea un ejemplo básico para dejar en claro el esquema *crosslayer*. Ellos describen un modelo hipotético compuesto por tres capas llamadas  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$ , donde  $L_1$  es la capa más baja, y  $L_3$  es la capa en la cima. En esta arquitectura, es apreciable que no existe interfaz alguna entre  $L_3$  y  $L_1$ ; sin embargo, existe la posibilidad que un protocolo sea diseñado de tal manera que requiera que  $L_1$  transfiera un parámetro a  $L_3$  durante el tiempo de ejecución de dicho protocolo. Ello hace necesaria una nueva interfaz entre ellos, y por ende viola el concepto del modelo por capas. Alternativamente, se puede considerar a  $L_2$  y  $L_1$  como una sola capa, y de esta manera diseñar un protocolo conjunto para esta "super capa".

Otra opción es diseñar el protocolo en  $L_3$ , considerando al proceso siendo ejecutado en  $L_1$ , renunciando al hecho de diseñar protocolos para cada capa independiente. Todos estos casos son ejemplos de un diseño *crosslayer* con respecto al modelo de tres capas en cuestión.

Existen muchas propuestas de diseño *crosslayer* en la literatura; Raisinghani y Iyer (2004) presenta un estudio donde describe varias de las propuestas desarrolladas para redes inalámbricas bajo este tipo de diseño.

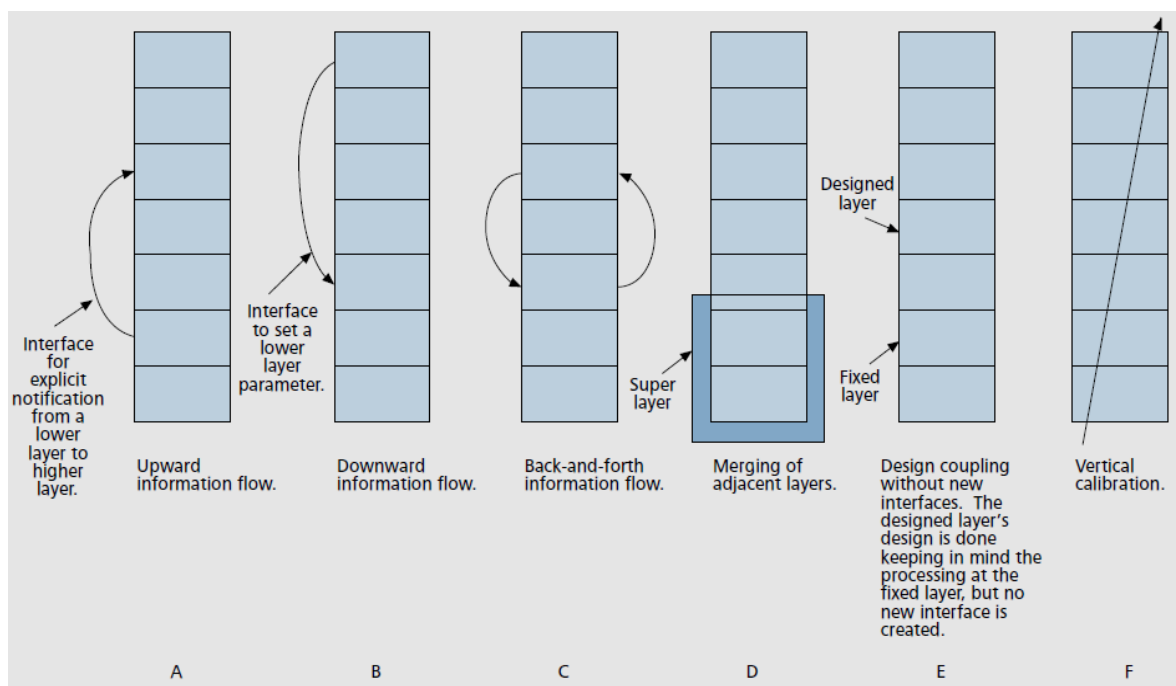


Figura 2.12: Distintos tipo de propuestas de diseño *crosslayer*.

Así también, en la investigación realizada por Srivastava y Motani (2005) se propone una clasificación del *crosslayer*, en las que se muestran las posibles interacciones entre capas: ya sea el diseño de una interfaz nueva entre capas separadas (Figura 2.12 A-C), una unión de capas adyacentes (Figura 2.12 D), o el diseño de protocolos en donde exista consideración entre capas no adyacentes sin la creación de interfaces entre ellas (Figura 2.12 E). Del mismo modo, se hace una diferencia en función a la orientación o sentido del *crosslayer*; esto es, si la interfaz va de capas inferiores a superiores, de superiores a inferiores, o si se trata de un flujo iterativo.

Los mecanismos de *handoff* implementan diferentes criterios para determinar el momento o situación oportuna para ejecutar el traspaso de una red a otra. Sin em-

bargo, la manera común y general de realizar estos mecanismos se basa en trabajar siempre exclusivamente en una de las capas del modelo *OSI* (Bertsekas, Gallager, y Humblet, 1992). La estrategia de diseño colaborativo entre capas (*crosslayer*) rompe con esos esquemas de trabajo y propone la implementación de un trabajo colectivo entre múltiples capas; dígase capa de Transporte y subcapa de *MAC* (siglas en inglés de *Medium Access Control*, Control de Acceso al Medio), por ejemplo. En donde se permite una comunicación directa entre protocolos de diferentes capas, o compartiendo variables de las mismas. Ejemplo de ellos se describe en la investigación realizada por Thaalbi y Tabbane (2014), quienes proponen un mecanismo de *handoff* vertical bajo el esquema *crosslayer* en donde se involucran interacciones entre las capas de Aplicación, Transporte, Red y la subcapa *MAC*; siendo éstas explotadas para obtener información precisa sobre el desempeño de la red actual, el desempeño de redes alternativas y los requerimientos de la Aplicación.

De la misma manera Sinky y Hamdaoui (2013), presentan un *handoff* bajo esquema *crosslayer* asistido por *TCP* (siglas en inglés de *Transmission Control Protocol*, Protocolo de Control de Transmisión), con el cual buscan aliviar problemas de desempeño durante el proceso de *handoff* entre redes que trabajan con desempeños y tasas de información variantes; mediante el ajuste de parámetros de *TCP* para mejorar la calidad de servicio durante el traspaso de red.

Al igual que los anteriores, diversas investigaciones se han desarrollado en los últimos años, buscando evidenciar que el desarrollo de protocolos de comunicación trabajando en cooperación entre las capas del modelo de red, presenta grandes ventajas a comparación del modelo tradicional.

De acuerdo a esta tendencia y a la investigación realizada, es posible aproximarse a la idea de que en un futuro la mayoría (sino todos) de los mecanismos de *handoff* tenderán hacia un diseño *crosslayer* dadas las bondades que éste ofrece. Entre las que destaca el tener una mayor o más amplia visión del entorno, y no solo enfocarse en una capa. Sin embargo, es necesario tener en mente algunas preguntas sobre este futuro desarrollo:

- ¿Cuáles serán los diseños *crosslayer* con mayor impacto en el desempeño de la red?
- ¿En cuáles de ellos habrá que enfocar el desarrollo?
- ¿Cómo se permitirá la coexistencia de diferentes diseños *crosslayer*?

- ¿Cuáles capas y qué parámetros ofrecen una mejor conciencia del entorno y permiten un eficiente mecanismo de *handoff*?

Esta última cuestión define el área de oportunidad que este proyecto busca aprovechar, por lo que es necesario ahondar la investigación en el tema y propulsar el desarrollo de propuestas, con el fin de definir estas variables y un mejor diseño *crosslayer*.

## 2.6. Resumen e Inferencias

Durante la investigación y estudio del Esquema de Fundamentos antes mostrado, se realizó una lectura y análisis de los múltiples trabajos de investigación encontrados: artículos, tesis de doctorado, libros, publicaciones en congresos, entre otras; y fue posible producir las siguientes conclusiones:

- En general, los avances realizados en mecanismos de *handoff* buscan mejorar aspectos relacionados al *QoS*.
- La latencia, *throughput end-to-end* y la tasa de entrega de paquetes son, en general, las principales métricas a beneficiar con los mecanismos propuestos.
- Modificar un mecanismo base de un diseño tradicional a uno *crosslayer*, en general otorga mayores ventajas que desventajas en términos de eficiencia.
- En general, los mecanismos de *handoff crosslayer* propuestos para *WSN* consideran a la subcapa *MAC* como integrante esencial del criterio puesto que permite analizar la situación actual del medio de comunicación; así como a las capas de Aplicación, dado que permiten conocer los requerimientos establecidos.
- De acuerdo a las clasificaciones y tipos de mecanismos *handoff* analizados, la propuesta de este trabajo de investigación se encuentra dentro de los mecanismos de *handoff* horizontal y tipo *hard* (*break-before-make*). Esto debido a que en la tecnología de red a trabajar solo existirán miembros trabajando bajo el estándar *IEEE 802.15.4*, el cuál no posee la capacidad de múltiples antenas, por lo que solo se podrá establecer a lo mucho una sola conexión en todo momento. Y finalmente, puesto que al utilizar información de los paquetes transmitidos entre la red para la toma de decisiones del mecanismo de *handoff*, se clasifica como un tipo *asistido-por-móvil*.



## Capítulo 3

# Trabajos relacionados

A continuación, se presenta un breve capítulo sobre algunos trabajos relacionados. Clasificados de acuerdo a la tecnología de red en la cual se ha implementado o enfocado el caso de uso del mecanismo de *handoff*.

Por ejemplo, en la propuesta de Ahmad, Akbar, y Qadir (2007) se aplica el diseño *crosslayer* para un *handoff* vertical en donde consideran aspectos provenientes de la capa de aplicación e información de la capa de enlace. Con ello, se crean perfiles de acuerdo a la aplicación permitiendo la consideración de aplicaciones en función a lo crítico de las mismas y ofreciendo prioridades; lo cual arrojó resultados favorables comparando su propuesta contra un mismo procedimiento sin su algoritmo.

En el trabajo desarrollado por Shi y Fapojuwo (2009), se aplica el diseño *crosslayer* en *WSN* con el propósito de eficientar y reducir el consumo de energía puesto que éste es una limitante crítica en este tipo de redes. Esto mediante la combinación de información originaria de las capas física, de control de acceso al medio y de red.

Del mismo modo, Tang, Sun, Wen, y Liang (2010) extienden los alcances de su trabajo anterior (Qiuling Tang, Liuqing Yang, Giannakis, y Tuanfa Qin, 2005) integrando un diseño *crosslayer* con el objetivo de analizar el consumo de energía generado por un modelo de eficiencia energética, pero ahora considerando aspectos de las capas de transporte, acceso al medio, red, enlace, física, y demás aspectos.

Finalmente, en el trabajo realizado por Buenrostro-Mariscal et al. (2015) se generó un protocolo de *handoff crosslayer*: el protocolo *WSN-HaDas* (*Handoff aware of Data Sending*). Este protocolo opera en las capas de transporte y de control de acceso al medio, interactuando con el mecanismo de envío de información *TCP* (siglas en inglés de *Transmission Control Protocol*, Protocolo de Control de Transmisión), con

ello posee la ventaja de ser capaz de detener o reactivar el envío de datos pues le es posible notificar al momento sobre el inicio o fin de un proceso de *handoff*.

Biomedical measurements	Voltage range (V)	Number of users = $K$ (sensors)	Bandwidth (Hz)	Sample rate (samples/s) = (Hz)	Resolution [b/sample]	Information rate [b/s]
ECG	0.5–4 m	5–9	0.01–250	1250	12	15,000
Heart sound	Extremely small	2–4	5–2000	10,000	12	120,000
Heart rate	0.5–4 m	2	0.4–5	25	24	600
EEG	2–200 $\mu$	20	0.5–70	350	12	4200
EMG	0.1–5 m	2+	0–10,000	50,000	12	600,000
Respiratory rate	Small	1	0.1–10	50	16	800
Temperature of body	0–100 m	1+	0–1	5	16	80
Bandwidth = $f_{\max} - f_{\min}$ Sample rate = $5 \cdot f_{\max}$ Information rate = $R_b = \text{Resolution} \cdot \text{Sample rate}$						

Figura 3.1: Requerimientos de mediciones biomédicas. **ES DE cite[Arnon2003]**

## 3.1. Celular

El término *handoff* o *handover* se utilizó primeramente en redes de comunicación celulares y satelitales, con el propósito de permitir movilidad entre los usuarios (Pollini, 1996). En las comunicaciones por tecnología celular o satelital, el *handoff* permite al usuario recibir un servicio de comunicación continuo incluso al moverse entre diferentes celdas o alcances de distintos *APs*, sin que él lo note. Esta característica y el hecho que el servicio de telefonía móvil es en la actualidad más una necesidad que un lujo, muchos avances tecnológicos hacia el beneficio de estas tecnologías han sido desarrollados.

En los trabajos desarrollados por McNair y Fang Zhu (2004); Nasser et al. (2006), se aborda la temática de las redes de comunicación celular *4G* (de cuarta generación). Para las cuales se pretenden desarrollar nuevas estrategias de decisión para el mecanismo de *handoff* para los dispositivos móviles en la red. Muestra de ello, son las propuestas presentadas por dichos autores, en las que se han desarrollado diferentes funciones con distintos criterios de decisión de para la ejecución de un *handoff vertical*.

En el primer caso, dicha decisión se basa en criterios ponderados en relación a los tipos de servicio, costo, condiciones de la red, desempeño del sistema, estado de los nodos móviles y preferencias del usuario; en el segundo caso, se da importancia mayor a parámetros de red como: costo de servicio, seguridad, consumo de energía, condiciones de la red y desempeño de la red; todo ello con el fin de ofrecer un criterio con mayor alcance y capaz de brindar un *handoff* de mayor eficiencia. Esto refleja la necesidad de aumentar el panorama de visión de los mecanismos de *handoff* al considerar aspectos no solo de red como tal, sino también de aspectos referentes a las aplicaciones de la red.

## 3.2. WLAN - CONTINUAR

A diferencia de las redes satelitales y celulares, las *WLAN* poseen un menor rango de cobertura; sin embargo esta característica no las exime de la necesidad de mecanismos de *handoff*. Es decir, en *WLAN* también existe el problema de *handoff*, puesto que puede existir movilidad entre los dispositivos de la red.

Por ello, en la investigación realizada por Kim, Han, Han, y Member (2010); Min Liu et al. (2008); Ramachandran et al. (2006) se describen soluciones a problemáticas existentes en dichas redes, sobretodo haciendo un enfoque hacia la calidad del servicio.



En dichos trabajos se hace mención que uno de sus propósitos es el que la estrategia del diseño de su algoritmo sea aplicable a cualquier tipo de red que busque mejorar aspectos de *QoS*, considerando que el incluir una mayor cantidad de parámetros relativos a este aspecto podrán mejorar significativamente el rendimiento del algoritmo.

En su respectivo trabajo de investigación, Ahmed et al. (2014); X. Yang, Vare, y Owens (2006) proveen al lector sobre conceptos relacionados en la temática del *handoff* en *WLANs* en sus respectivas investigaciones; tales como conceptos, clasificaciones propuestas y estrategias de decisión para mecanismos de *handoff*.

Además, en la investigación presentada por Tsukamoto, Yamaguchi, Kashihara, y Oie (2007) se realizan experimentos utilizando *FTP* (siglas en inglés de *File Transfer Protocol*, Protocolo de Transferencia de Archivos) y aplicaciones de Voz IP (*VoIP*) con fines comparativos entre criterios considerando potencia de señal y retransmisión de tramas.

### 3.3. WSN - CONTINUAR

Según menciona Fotouhi et al. (2012), al diseñar un mecanismo de *handoff* para *WSNs*, existen consideraciones diferentes que deben atenderse: el *hard handoff* por ejemplo; puesto que en *WSNs* los radios sólo poseen usar un canal a la vez. También deben considerarse el efecto de enlaces de baja potencia y/o desconfiables, dado que son críticos para evitar la problemática del efecto *ping-pong*.

El hecho es que los estándares actuales no dan un soporte eficiente a la movilidad, y esto plantea obstáculos considerables para su uso en *WSNs*, especialmente si se trata de aplicaciones críticas que requieren un alto nivel de confiabilidad y desempeño, según detallan Silva, Silva, y Boavida (2012) en su trabajo de investigación.

The fact is that current standards do not efficiently support mobility, and this poses considerable obstacles to their use in *WSNs*, especially if they are being used for critical applications requiring high levels of reliability and performance. If achieved, adequate mobility support would be fundamental for fulfilling the long-made promise of *WSN* deployment in scenarios as critical and important as military, health or transport scenarios, for which the number of real implementations is still very low.

## Capítulo 4

# Desarrollo de protocolo de *handoff*

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## 4.1. Implementación en Simulador

Uno de los puntos clave de este proyecto es el uso de un simulador de redes para la implementación del mecanismo diseñado y análisis de comportamiento y resultados.

Esta etapa a su vez, requirió de una planeación o metodología a seguir. Ésta se ha tomado de OpnetWork (2013), y funge como base para el desarrollo de la simulación, dicha metodología se presenta en la figura 4.1.

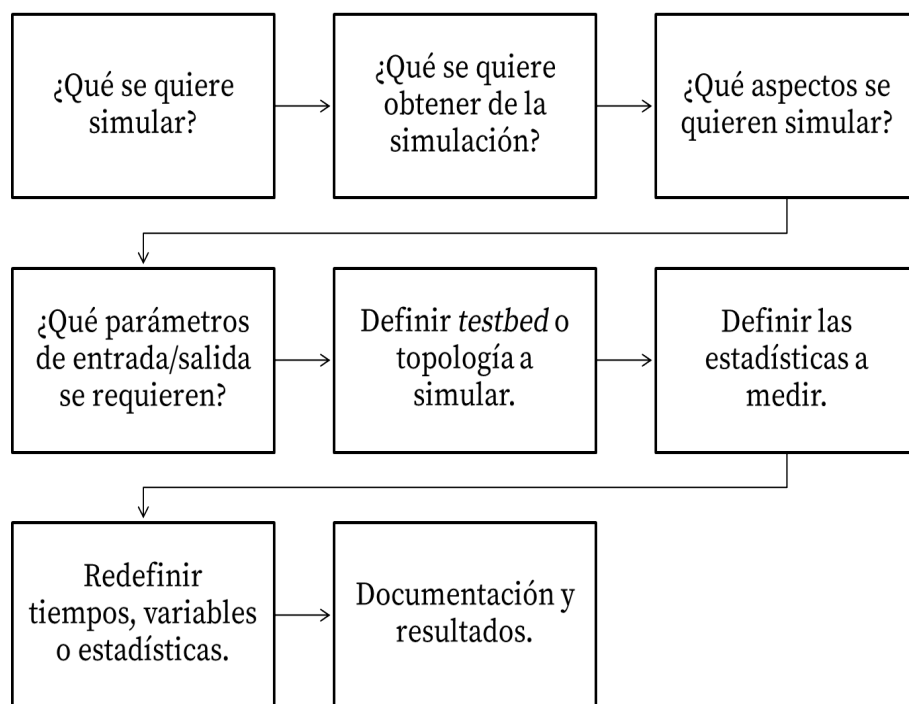


Figura 4.1: Algunas fuentes de investigación consultadas.

A continuación, se detallan cada una de las etapas mostradas en la anterior metodología:

1. **¿Qué se quiere simular?:** En esta etapa se plantea un panorama general de lo que se pretende simular, con el objetivo de partir de lo general hacia lo específico. En este caso, la simulación plantea una *WSN* con nodos móviles y fijos trabajando bajo el estándar IEEE 802.15.4, con propósitos de observación y análisis de efecto de *handoff*, utilizando el protocolo *WSN-HaDaS* y la propuesta de este trabajo.

2. **¿Qué se quiere obtener de la simulación?:** De ella, se busca el permitir analizar el efecto del *handoff* en el rendimiento de la red.
3. **¿Qué aspectos se quieren simular?:** Se consideraron a los tiempos de conexión y reconexión como aspectos de simulación relevantes; así como la cantidad de paquetes perdidos y entregados y el retardo promedio de paquetes entregados. Asimismo, se plantea el movimiento de nodos dentro de una misma celda, y a través de múltiples celdas.
4. **¿Qué parámetros de entrada y salida se requieren?:**  
Los parámetros de *entrada* se muestran en seguida:

- Nodos móviles
- Nodos fijos
- Roles de nodos
- Tasa de transmisión
- Tamaño de paquete
- Velocidad de movimiento de nodos
- Potencia de transmisión
- Sensibilidad de recepción
- Ubicación de nodos fijos

Del mismo modo, los parámetros de *salida* requeridos se muestran a continuación:

- Consumo de energía/batería
- Paquetes entregados/perdidos
- Tiempos de conexión/reconexión

5. **Definir *testbed* o topología a simular:** La topología definida para la simulación de la *WSN* describe un árbol jerárquico. Esto es, dentro de la red existen diferentes roles que puede tomar un nodo.

El primer rol es el *SN* (iniciales en inglés de *Sink Node*, Nodo Receptor), bajo este rol el nodo no presenta movimiento sino que se mantiene estático en su posición

inicial, siendo su principal tarea el recibir la información proveniente de los demás nodos.

El rol de *CH* (iniciales en inglés de *Cluster Head*, Cabeza de Grupo) se encarga de la recepción de información de los nodos miembros de su *cluster* o grupo. y su posterior envío hacia en *SN*. Los nodos bajo este rol no presentan movimiento.

Un tercer rol es el de *MN* (iniciales en inglés de *Mobile Node*, Nodo Móvil), el cual posee como característica principal la facultad de desplazarse dentro de la red (incluso tal vez, fuera de ella). Otra de las funciones del *MN* es el enviar información hacia el *SN*, ello a través de los *CH*.

De este rol puede desprenderse un subrol, dado que no todos los *MN* se mueven a través de las celdas. Un *MN* normal solo presenta movimiento dentro del alcance de un mismo *CH*; sin embargo un *WN* (iniciales en inglés de *Wild Node*, Nodo Salvaje) es capaz de moverse de un *cluster* a otro.

Además, se determinó un tráfico continuo generado con un tamaño constante. Ello bajo una *WSN* utilizando ya sea *TCP* o *UDP*, con *CBR* (iniciales en inglés de *Constant Bit Rate*, Tasa Constante de Bits) como aplicación.

6. **Definir las estadísticas a medir:** Las estadísticas planteadas para su medición, observación y análisis son las siguientes:
  - Latencia extremo-a-extremo.
  - Paquetes perdidos/entregados.
  - Retardo promedio de paquetes entregados.
7. **Redefinir tiempos, variables o estadísticas:** Esta etapa es un caso opcional, y se aborda en situaciones tales que el análisis de los resultados obtenidos en la simulación propongan oportunidades de mejora. Sin embargo, el tiempo propuesto de simulación es de dos minutos.
8. **Documentación y resultados:** Una vez obtenidos los resultados esperados, y siendo ellos positivos, se continuó hacia la documentación de los mismos.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu

neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



## Capítulo 5

# Evaluación y análisis de resultados

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc



eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

## Capítulo 6

# Conclusiones y recomendaciones

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc

eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

**Apéndice A**

**Anexos**



## Referencias

- Ahmad, S. Z., Akbar, M. S., y Qadir, M. A. (2007). A Cross-Layer Vertical Handover Decision Model for Heterogeneous Wireless Networks. *2007 Innovations in Information Technologies (IIT)*, 441–445. doi: 10.1109/IIT.2007.4430456
- Ahmed, A., Boulahia, L. M., y Gaïti, D. (2014). Enabling vertical handover decisions in heterogeneous wireless networks: A state-of-the-art and a classification. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(2), 776–811. doi: 10.1109/SURV.2013.082713.00141
- Akyildiz, I., y Vuren, M. (2010). *Wireless Sensor Networks* (1.<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons. Descargado de <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1628923>
- Arnon, S., Bhastekar, D., Kedar, D., y Tauber, A. (2003). A comparative study of wireless communication network configurations for medical applications. *Ieee Wireless Communications*, 10(1), 56–61. doi: 10.1109/MWC.2003.1182112
- Berghaus, S., y Back, A. (2015, jan). Requirements Elicitation and Utilization Scenarios for In-car Use of Wearable Devices. En *2015 48th hawaii international conference on system sciences* (pp. 1028–1037). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7069932> doi: 10.1109/HICSS.2015.127
- Bertsekas, D., Gallager, R., y Humblet, P. (1992). *Data networks* (2.<sup>a</sup> ed.). Prentice-Hall International New Jersey. Descargado de <http://www.pearsonhighered.com/educator/product/Data-Networks/9780132009164.page>
- Bisnik, N. (2005). Protocol Design for Wireless Ad hoc Networks : The Cross-Layer Paradigm. *Teknik Rapor, Rensselaer Polytechnic Institute*, 1–10.
- Braden, R., Faber, T., y Handley, M. (2003, jan). From protocol stack to protocol heap. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 33(1), 17–22. Descargado de <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=774763.774765> doi: 10.1145/774763.774765
- Buenrostro-Mariscal, R. (2014). *Protocolo de transporte para el control de congestión, bajo diseño Cross-Layer, consciente del QoS de las aplicaciones en redes inalámbricas IEEE 802.15.4* (Doctorado). Universidad Autónoma de Baja Cali-

- fornia.
- Buenrostro-Mariscal, R., Cosio-Leon, M., Nieto-Hipolito, J.-I., Guerrero-Ibanez, J.-A., Vazquez-Briseno, M., y Sanchez-Lopez, J.-d.-D. (2015). WSN-HaDaS: A Cross-Layer Handoff Management Protocol for Wireless Sensor Networks, a Practical Approach to Mobility. *IEICE Transactions on Communications*, *E98.B*(7), 1333–1344. Descargado de <https://www.jstage.jst.go.jp/article/transcom/E98.B/7/E98.B-1333/article> doi: 10.1587/transcom.E98.B.1333
- Chowdhury, A. S., y Gregory, M. A. (2012, dec). UMTS and WiMAX handover performance comparison. En *2012 15th international conference on computer and information technology (iccit)* (pp. 332–337). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6509794> doi: 10.1109/ICCITech.2012.6509794
- de los Angeles Cosio Leon, M., Hipolito, J., y Garcia, J. (2009). A Security and Privacy Survey for WSN in e-Health Applications. En *Electronics, robotics and automotive mechanics conference, 2009. cerma '09*. doi: 10.1109/CERMA.2009.47
- Dictionary, M. (2015). *Handover definition and synonyms — Macmillan Dictionary*. Descargado 2015-10-28, de <http://www.macmillandictionary.com/dictionary/british/handover>
- Dunn, W., y Murphy, J. G. (2008, jul). The Patient Handoff: Medicine’s Formula One Moment. *Chest*, *134*(1), 9–12. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0012369208601397> doi: 10.1378/chest.08-0998
- Edirisinghe, R., y Zaslavsky, A. (2014, jan). Cross-Layer Contextual Interactions in Wireless Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *16*(2), 1114–1134. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6657500> doi: 10.1109/SURV.2013.101813.00023
- Española, R. A. (2014). Diccionario de la lengua española. *Barcelona: España Libros*.
- Eysenbach, G. (2001). What is e-health? *Journal of medical Internet research*, *3*(2). Descargado de <http://www.jmir.org/2001/2/e20/> doi: 10.2196/jmir.3.2.e20
- Fotouhi, H., Zuniga, M., Alves, M., Koubaa, A., y Marron, P. J. (2012). Smart-HOP: A Reliable Handoff Mechanism For Mobile Wireless Sensor Networks. *Ewsn'12*, 2–16. doi: 10.1007/978-3-642-28169-3-9
- Fu, B., Xiao, Y., Deng, H. J., y Zeng, H. (2014, jan). A Survey of Cross-Layer Designs in Wireless Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *16*(1),

- 110–126. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs{ }all.jsp?arnumber=6587995><http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6587995> doi: 10.1109/SURV.2013.081313.00231
- García, C., Ibargüengoytia, P., García, J., y Pérez, J. (2007). Wireless Sensor Networks and Applications : a Survey. *Journal of Computer Science*, 7(3), 264–273. doi: 10.1109/MC.2002.1039518
- Ghanem, K., Alradwan, H., Motermawy, A., y Ahmad, A. (2012, jul). Reducing ping-pong Handover effects in intra EUTRA networks. En *2012 8th international symposium on communication systems, networks & digital signal processing (csndsp)* (pp. 1–5). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6292642> doi: 10.1109/CSNDSP.2012.6292642
- Gruebler, A., y Suzuki, K. (2014). Design of a Wearable Device for Reading Positive Expressions from Facial EMG Signals. *IEEE Transactions on Affective Computing*, PP(99), 1–1. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6778017> doi: 10.1109/TAFFC.2014.2313557
- Gu, J., Bae, S., y Chung, M. (2010). Mobility-based handover decision mechanism to relieve ping-pong effect in cellular networks. *16th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 487–491. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs{ }all.jsp?arnumber=5680000> doi: 10.1109/APCC.2010.5680000
- Höflinger, F., Zhang, R., Hoppe, J., Bannoura, A., Reindl, L. M., Wendeberg, J., ... Schindelbauer, C. (2012). Acoustic Self-calibrating System for Indoor Smartphone Tracking (ASSIST). *2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*(November), 1–9. doi: 10.1109/IPIN.2012.6418877
- Kassar, M., Kervella, B., y Pujolle, G. (2008). An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks. *Computer Communications*, 31(10), 2607–2620. doi: 10.1016/j.comcom.2008.01.044
- Khan, J. Y., y Yuce, M. R. (2012). Wireless Body Area Network(WBAN) for Medical Applications. *Journal of Medical Systems*, 36(3), 1441–1457.
- Kim, T., Han, S.-w., Han, Y., y Member, S. (2010). A QoS-Aware Vertical Handoff Algorithm Based on Service History Information. *IEEE communications letters*, 14(6), 527–529. doi: 10.1109/LCOMM.2010.06.100176
- Lee, D.-K., Kim, T.-H., Jeong, S.-Y., y Kang, S.-J. (2011, sep). A three-tier middleware architecture supporting bidirectional location tracking of numerous mobile nodes under legacy WSN environment. *Journal of Systems Architecture*,



- 57(8), 735–748. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1383762111000804> doi: 10.1016/j.sysarc.2011.05.004
- Liu, Y., Harn, L., y Chang, C.-C. (2015). A Novel Verifiable Secret Sharing Mechanism Using Theory of Numbers and a method for Sharing Secrets. *International Journal of Communication Systems*, 23(5), 553–568. Descargado de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dac.2760/epdf> doi: 10.1002/dac
- Makaya, C., y Pierre, S. (2008, mar). An Analytical Framework for Performance Evaluation of IPv6-Based mobility Management Protocols. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 7(3), 972–983. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4472015> doi: 10.1109/TWC.2008.060725
- Man, L. a. N., y Committee, S. (2006). *IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements-Part 15.4: Wireless MAC and PHY Specifications for Low-Rate WPANs* (Vol. 2006) (n.º September). Descargado de <http://www.mendeley.com/research/ieee-standard-for-information-technology-telecommunications-and-information-exchange-between-systems-local-and-metropolitan-area-networks-specific-requirements-part-154-wireless-medium-access-control-mac-and-physical-layer> doi: 10.1109/IEEESTD.2006.232110
- McNair, J., y Fang Zhu. (2004, jun). Migration toward 4G wireless communications - Vertical handoffs in fourth-generation multinet network environments. *IEEE Wireless Communications*, 11(3), 8–15. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1308935> doi: 10.1109/MWC.2004.1308935
- Melodia, T., Vuran, M., y Pompili, D. (2006). The state of the art in cross-layer design for wireless sensor networks. *Wireless Systems and Network ...*, 78–92. Descargado de [http://link.springer.com/chapter/10.1007/11750673{}\\_7](http://link.springer.com/chapter/10.1007/11750673{}_7)
- Min Liu, Zhongcheng Li, Xiaobing Guo, y Dutkiewicz, E. (2008, jul). Performance Analysis and Optimization of Handoff Algorithms in Heterogeneous Wireless Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 7(7), 846–857. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4359007> doi: 10.1109/TMC.2007.70768

- Nasser, N., Hasswa, A., y Hassanein, H. (2006, oct). Handoffs in fourth generation heterogeneous networks. *IEEE Communications Magazine*, 44(10), 96–103. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1710420> doi: 10.1109/MCOM.2006.1710420
- OpnetWork. (2013). Principios Básicos de Simulación. En *Opnetwork 2013*.
- Pahlavan, K., Krishnamurthy, P., Hatami, A., Ylianttila, M., Makela, J., Pichna, R., y Vallstron, J. (2000, apr). Handoff in hybrid mobile data networks. *IEEE Personal Communications*, 7(2), 34–47. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1080/01422419908228843http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=839330> doi: 10.1109/98.839330
- Pollini, G. (1996). Trends in handover design. *IEEE Communications Magazine*, 34(3), 82–90. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs{ }all.jsp?arnumber=486807> doi: 10.1109/35.486807
- Qiuling Tang, Liuqing Yang, Giannakis, G., y Tuanfa Qin. (2005). Battery Power Efficiency of PPM and FSK in Wireless Sensor Networks. En *Milcom 2005 - 2005 ieee military communications conference* (pp. 1–7). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1606004> doi: 10.1109/MILCOM.2005.1606004
- Raisinghani, V. T., y Iyer, S. (2004). Cross-layer design optimizations in wireless protocol stacks. *Computer Communications*, 27(8), 720–724. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366403002913> doi: 10.1016/j.comcom.2003.10.011
- Ramachandran, K., Rangarajan, S., y Lin, J. (2006). Make-Before-Break MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks. En *2006 ieee international conference on communications* (Vol. 00, pp. 4818–4823). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4024800> doi: 10.1109/ICC.2006.255402
- Saranya, R., y Pugazendi, R. (2014). A Survey on Co-existence Mechanisms in WLAN and WPAN Devices. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 3(9), 2967–2972.
- Shi, L., y Fapojuwo, A. (2009, apr). Energy Efficient and Delay Optimized TDMA Scheduling for Clustered Wireless Sensor Networks. En *2009 ieee wireless communications and networking conference* (pp. 1–6). IEEE. Descargado de <http://>

- [ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4917709](http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4917709) doi: 10.1109/WCNC.2009.4917709
- Siddiqui, F., y Zeadally, S. (2008, apr). An efficient wireless network discovery scheme for heterogeneous access environments. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, 4(1), 50–60. Descargado de <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/17427370810873101> doi: 10.1108/17427370810873101
- Silva, R., Sa Silva, J., y Boavida, F. (2014). Mobility in wireless sensor networks - Survey and proposal. *Computer Communications*, 52, 1–20. doi: 10.1016/j.comcom.2014.05.008
- Silva, R., Silva, J. S., y Boavida, F. (2012). A proposal for proxy-based mobility in WSNs. *Computer Communications*, 35(10), 1200–1216. Descargado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140366412000825> doi: 10.1016/j.comcom.2012.03.005
- Simulator, N. (1989). *ns-2*.
- Sinky, H., y Hamdaoui, B. (2013, dec). Cross-layer assisted TCP for seamless handoff in heterogeneous mobile wireless systems. En *2013 ieee global communications conference (globecom)* (pp. 4982–4987). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6855740> doi: 10.1109/GLOCOMW.2013.6855740
- Srivastava, V., y Motani, M. (2005). Cross-layer design: a survey and the road ahead. *Communications Magazine, IEEE*, 43(12), 112–119.
- Stine, J. A. (2007). Cross-layer design of MANETs: The only Option. *Proceedings - IEEE Military Communications Conference MILCOM*. doi: 10.1109/MILCOM.2006.302250
- Stuedi, P., y Alonso, G. (2005). Transparent heterogeneous mobile ad hoc networks. *The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services*(5005), 237–246. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1541004> doi: 10.1109/MOBIQUITOUS.2005.63
- Tang, Q., Sun, C., Wen, H., y Liang, Y. (2010, apr). Cross-layer energy efficiency analysis and optimization in WSN. En *2010 international conference on networking, sensing and control (icnsc)* (pp. 138–142). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp>

- ?tp={&}arnumber=5461522{&}url=http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs/\_all.jsp?arnumber=5461522http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5461522 doi: 10.1109/ICNSC.2010.5461522
- Thaalbi, M., y Tabbane, N. (2014, aug). Improving Vertical Handover over Heterogeneous Technologies Using a Cross Layer Framework. En *2014 ieee intl conf on high performance computing and communications, 2014 ieee 6th intl symp on cyberspace safety and security, 2014 ieee 11th intl conf on embedded software and syst (hpcc,css,icess)* (pp. 1170–1176). IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=7056890> doi: 10.1109/HPCC.2014.191
- Tsukamoto, K., Yamaguchi, T., Kashiara, S., y Oie, Y. (2007). Experimental Evaluation of Decision Criteria for WLAN Handover: Signal Strength and Frame Retransmission. *IEICE Transactions on Communications, E90-B*(12), 3579–3590. doi: 10.1093/ietcom/e90-b.12.3579
- Van Quang, B., Prasad, R. V., y Niemegeers, I. (2012). A survey on handoffs - Lessons for 60 GHz based wireless systems. *IEEE Communications Surveys and Tutorials, 14*(1), 64–86. doi: 10.1109/SURV.2011.101310.00005
- Villar, H. F. (2009). Handoff Vertical : Aproximaciones Cross-Layer. *Revista en Telecomunicaciones e Informática, 1*(Noviembre), 73–95. Descargado de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/telecomunicaciones/article/view/1251>
- Virone, G., Wood, A., Selavo, L., Cao, Q., Fang, L., Doan, T., ... Stankovic, J. (2006). An advanced wireless sensor network for health monitoring. En *Transdisciplinary conference on distributed diagnosis and home healthcare (d2h2)* (pp. 2–4).
- Wang, Q., y Abu-Rgheff, M. A. (2003). Cross-layer signalling for next-generation wireless systems. *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, 2*(C), 1084–1089. doi: 10.1109/WCNC.2003.1200522
- Wong, R., Espinoza, M., y Palloni, A. (2007). Adultos mayores mexicanos en contexto socioeconómico amplio: salud y envejecimiento. *Salud Pública de México, 49*(Instituto Nacional de Salud Pública), 436–447. Descargado de <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloId=750850>
- Wu Baojiang. (2011, aug). An efficient fast handoff scheme with network mobility in heterogeneous networks. En *2011 6th international icst conference on communications and networking in china (chinacom)* (pp. 887–892).

- IEEE. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6158280> doi: 10.1109/ChinaCom.2011.6158280
- Yan, H., Xu, Y., y Gidlund, M. (2009). Experimental e-health applications in wireless sensor networks. En *Communications and mobile computing, 2009. cmc'09. wri international conference on* (Vol. 1, pp. 563–567).
- Yang, X., Vare, J., y Owens, T. (2006, jan). A survey of handover algorithms in DVB-H. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 8(4), 16–29. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractKeywords.jsp?arnumber=4062837+http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4062837> doi: 10.1109/COMST.2006.283819
- Yang, X. D., Song, Y. H., Owens, T. J., Cosmas, J., y Itagaki, T. (2004). Seamless Soft Handover In DVB-H Networks. En *International conference on software, telecommunications and computer networks 2004*. Split, Croatia, 2004.: Softcom committees. Descargado de <http://bura.brunel.ac.uk/handle/2438/2490>
- Yemini, Y. (1993). The OSI network management model. *Communications Magazine, IEEE*, 31(5), 20–29.
- Zdarsky, F., y Schmitt, J. (2004). Handover in mobile communication networks: who is in control anyway? *Proceedings. 30th Euromicro Conference, 2004.*, 205–212. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs{ }all.jsp?arnumber=1333373> doi: 10.1109/EURMIC.2004.1333373
- Zimmermann, H. (1980, apr). OSI Reference Model–The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection. *IEEE Transactions on Communications*, 28(4), 425–432. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=1094702> doi: 10.1109/TCOM.1980.1094702