



UNIVERSIDAD DE COLIMA

Facultad de Telemática

PROPUESTA Y SIMULACIÓN DE UN MECANISMO DE HANDOFF CROSSLAYER PARA REDES DE SENSORES MÓVILES.

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, AGOSTO 2015

Resumen

Con el propósito de realizar una mejor adquisición del conocimiento referente al traspaso de red (*Handoff*), es necesario tener un conocimiento previo sobre conceptos generales frecuentemente utilizados en la temática.

Por ello, se pretende sumergir al lector dentro del área de las tecnologías en redes inalámbricas, particularmente en las redes inalámbricas de área personal (*WPAN*, por sus siglas en inglés) y sus aplicaciones, como lo representan las redes inalámbricas de sensores (*WSN*, por sus siglas en inglés). Como se mencionó, estos conceptos serán retomados de manera más profunda en siguientes secciones del capítulo.

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

Descripción del resumen máximo en una cuartilla a renglón sencillo. Máximo 150 palabras.

Palabras Clave: *Handoff, Crosslayer, WSN.*

*Dedicado
a mi pequeña familia...*

Agradecimientos.

Índice general

Resumen	i
Abstract	iii
Lista de tablas	xi
Lista de Figuras	xiii
1. Introducción	1
1.1. Problemática	2
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo general	7
1.2.2. Objetivos específicos	7
1.3. Justificación	7
1.4. Preguntas de investigación	9
1.5. Limitaciones y suposiciones	9
1.6. Organización del documento	10
2. Esquema de fundamentos	11
2.1. Transferencia de red (<i>handoff</i>)	12
2.2. Clasificación del <i>handoff</i>	12
2.2.1. Redes involucradas	12
2.2.2. Número de conexiones	15
2.2.3. Control del <i>handoff</i>	16
2.3. Problemáticas que conlleva el <i>handoff</i>	17
2.4. Importancia del <i>handoff</i>	19
2.5. Estrategia de diseño <i>crosslayer</i> - CONTINUAR	20
3. Trabajos relacionados	23
3.1. Celular - CONTINUAR	24
3.2. <i>WLAN</i> - CONTINUAR	24
3.3. <i>WSN</i> - CONTINUAR	24

4. Metodología de Investigación	25
4.1. Metodología	26
4.2. Revisión de Bibliografía	27
4.3. Análisis de Mecanismos	29
4.4. Diseño de Solución	29
4.5. Implementación en Simulador	29
4.6. Análisis de Resultados	32
5. Desarrollo de protocolo de <i>handoff</i>	33
6. Evaluación y análisis de resultados	35
7. Conclusiones y recomendaciones	37
A. Anexos	39
Bibliografía	41
Referencias	41

Lista de tablas

Índice de figuras

1.1.	Conjunto de computadoras conectadas formando una red.	2
1.2.	Clasificación de las redes inalámbricas en función de su alcance.	3
1.3.	Requerimientos de mediciones biomédicas.	8
2.1.	Clasificación del <i>handoff</i>	13
2.2.	Horizontal <i>handoff</i>	13
2.3.	Vertical <i>handoff</i>	14
2.4.	Clasificación del <i>handoff</i> según las redes involucradas.	14
2.5.	Mecanismo tipo <i>hard handoff</i>	15
2.6.	Mecanismo tipo <i>soft handoff</i>	15
2.7.	Mecanismo tipo <i>softer handoff</i>	16
2.8.	Temas importantes involucrados en un mecanismo de <i>handoff</i> . HACER UNA PROPIA	18
2.9.	Ejemplo de ejecución de un mecanismo de <i>handoff</i> . HACER UNA PROPIA	19
2.10.	Distribución de capas del Modelo OSI.	20
2.11.	Diferencia de operación y filosofía entre el modelo OSI tradicional y <i>crosslayer</i>	21
2.12.	Distintos tipo de propuestas de diseño <i>crosslayer</i>	22
4.1.	Metodología de investigación propuesta	26
4.2.	Metodología de revisión sistemática.	27
4.3.	Algunas fuentes de investigación consultadas.	28
4.4.	Algunas fuentes de investigación consultadas.	30

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se hace mención y breve descripción acerca del proyecto en general. Para ello se muestra, en sus diferentes secciones, las razones por las cuales se desarrolla el proyecto; esto es, se describe la problemática actual en las *WSN* (siglas en inglés de *Wireless Sensor Networks*, Redes Inalámbricas de Sensores), la justificación del proyecto, los objetivos planteados, los alcances y supuestos del mismo, y finalmente la organización general del documento.

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).

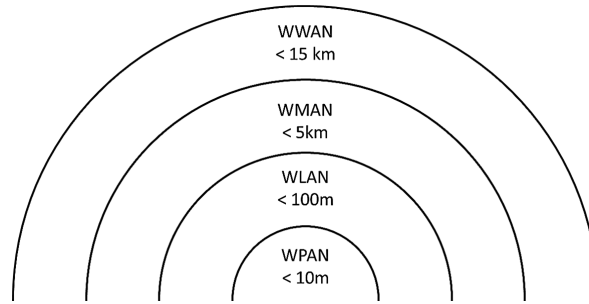


Figura 1.2: Clasificación de las redes inalámbricas en función de su alcance.

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 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, Sa Silva, y Boavida, 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, Hipolito, y Garcia, 2009) desarrollando diferentes aplicaciones (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 y cols. (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.

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 congestión 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 mencionó 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*. 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 y cols. (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*.

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).

Por ello, 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 y cols., 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.

La propuesta misma y el diseño de la red, son implementados y simulados con ayuda del *software Network Simulator 2 (NS2)* (Simulator, 1989), por lo que todas las características y métricas consideradas son definidas con el propósito de permitir que la simulación sea lo más semejante a la realidad.

1.2. Objetivos

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 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, tal y como se muestra en la figura 1.3, tomada del mismo trabajo.

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 μ	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

$\text{Bandwidth} = f_{\max} - f_{\min}$
 $\text{Sample rate} = 5 \cdot f_{\max}$
 $\text{Information rate} = R_b = \text{Resolution} \cdot \text{Sample rate}$

Figura 1.3: Requerimientos de mediciones biomédicas.

Por ello, el mecanismo que ha proponer 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 colocados 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 comunicación inteligente, ya que es utilizada para transportar datos críticos (la salud de los pacientes), por ello este mecanismo utiliza como base o punto de partida al protocolo de *handoff WSN-HaDaS* (mencionado en la sección de Problemática). 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.

Utilizando este protocolo como punto de partida, la nueva propuesta está pensada para ofrecer un mayor grado de conciencia del entorno y la aplicación o 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 en un buen nivel la utilidad esperada del mecanismo de *handoff* propuesto con respecto las propuestas 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 se requiere analizar y definir cuáles capas del modelo de red se deben utilizar, qué procesos debe ejecutar el mecanismo, qué parámetros se deben considerar, y cómo se debe integrar todo lo anterior en un diseño *crosslayer* para crear nuestro mecanismo de *handoff*.

Además, se debe diseñar el escenario de operación de forma adecuada para simularlo con parámetros reales que puedan generar resultados válidos para su implementación en la vida real.

1.4. 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 simulador *NS2*, 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 en el trabajo de Buenrostro-Mariscal y cols. (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 posterior publicación.

1.6. Organización del documento

La estructura de este documento de tesis es la siguiente:

- **Introducción** El Capítulo 1 da introducción a la Tesis.
- **Esquema de fundamentos** El Capítulo 2 da una introducción al *handoff*, las *WSN* y el concepto *crosslayer*.
- **Trabajos relacionados** El Capítulo 3 detalla algunos trabajos relacionados a esta Tesis.
- **Metodología de investigación** El Capítulo 4 se muestra la metodología utilizada para el proceso de investigación de esta Tesis.
- **Desarrollo de protocolo de *handoff*** El Capítulo 5 presenta el desarrollo del protocolo propuesto de *handoff*
- **Evaluación y análisis de resultados** El Capítulo 6 evalúa y analiza el algoritmo implementado.
- **Conclusiones y recomendaciones** El Capítulo 7 concluye la Tesis con conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 2

Esquema de fundamentos

En este capítulo se describen brevemente 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* hace referencia a la acción de dar la responsabilidad sobre algo a alguien más, según define el *Macmillan Dictionary* (2015).

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 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 y cols., 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).

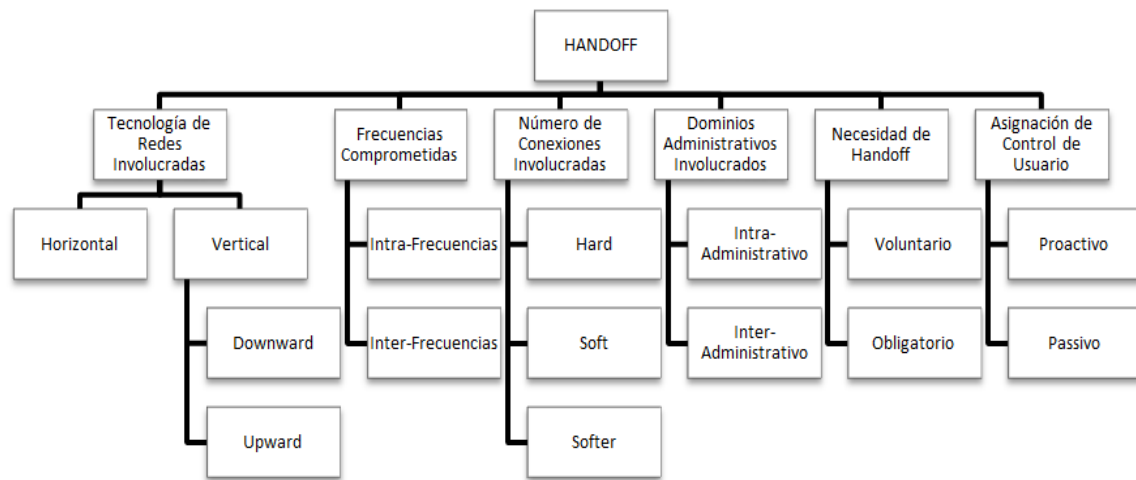
2.2. Clasificación del *handoff*

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).

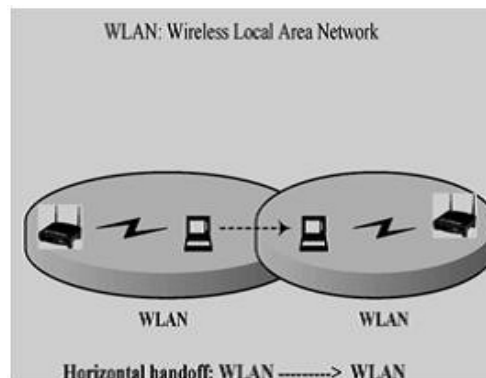
Para los propósitos del presente documento, basta con explicar solo algunas de las clasificaciones: de acuerdo a la tecnología de redes, número de conexiones involucradas y al control del *handoff*.

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: *handoffs* horizontal y vertical.

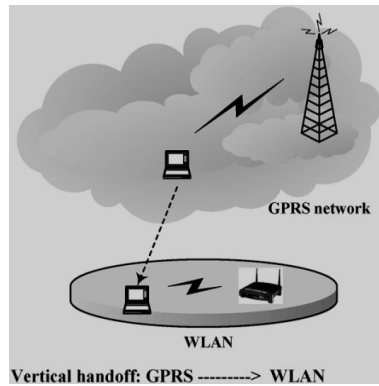
Figura 2.1: Clasificación del *handoff*.

- 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 y cols., 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 y cols., 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).

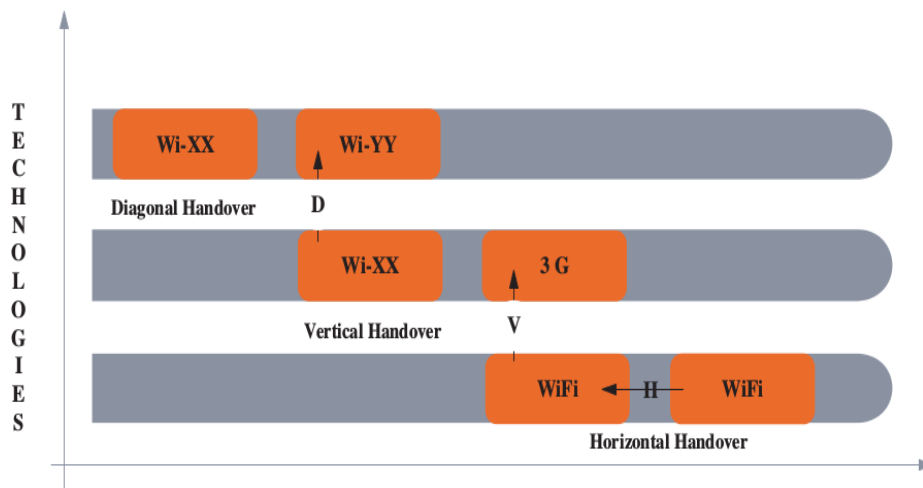
Sin embargo, otros autores describen una tercera clasificación: el *handoff* diagonal. Aunque en artículos como el de Stuedi y Alonso (2005) se da una visión diferente al

Figura 2.3: Vertical *handoff*.

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, tomada de (Ahmed y cols., 2014).

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

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 y cols. (2006), existen tres tipos.

- *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 posible establecer 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 y cols., 2006).

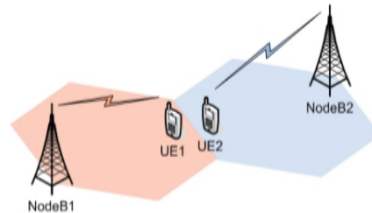


Figura 2.5: Mecanismo tipo *hard handoff*.

- *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* (Etworks, 2004). 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, Lin, y Laboratories, 2006).

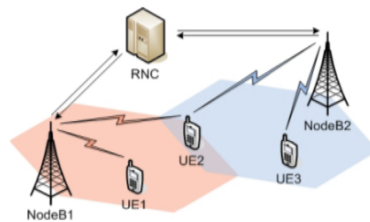


Figura 2.6: Mecanismo tipo *soft handoff*.

- *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.

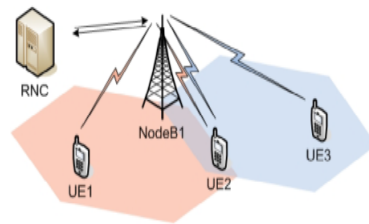


Figura 2.7: Mecanismo tipo *softer handoff*.

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 y cols. (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), o en el mismo nodo móvil (como en el caso de WLANs), en este contexto, estos casos corresponden a *controlado-por-red* y *controlado-por-móvil*, respectivamente. 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 y cols., 2000).

Sin embargo, otros trabajos 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 tanto la entidad de red como el nodo móvil.

2.3. Problemáticas que conlleva el *handoff*

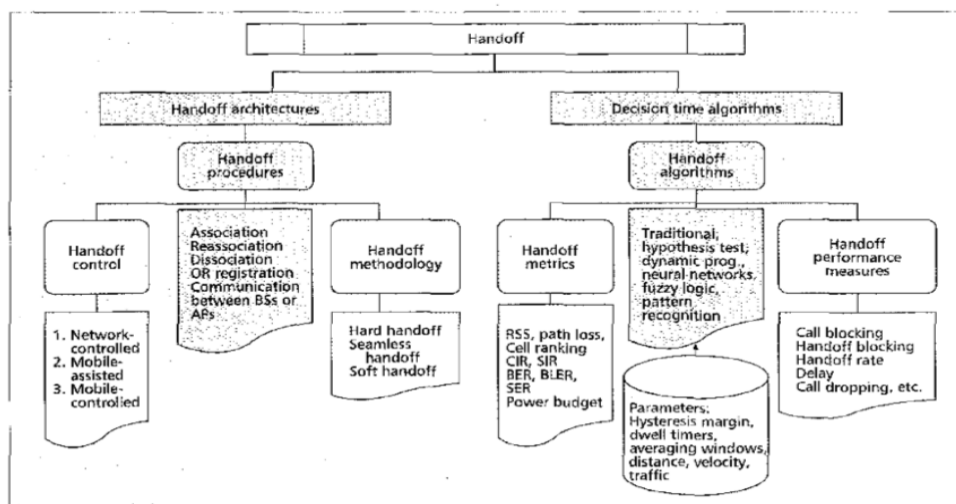
De acuerdo a Pahlavan y cols. (2000), existe una gran cantidad de temas relacionados a los mecanismos de *handoff*, como se muestra en la figura 2.8 tomada del mismo artículo, estos temas pueden clasificarse en dos categorías:

- **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.

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 de 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 un nodo móvil debe considerar aspectos del entorno; 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*, 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,



■ Figure 2. Important issues involved in the handoff mechanism.

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

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 conlleva en el fenómeno de ejecución frecuente de mecanismos de *handoff* (Yang, Song, Owens, Cosmas, y Itagaki, 2004). En otras palabras, se trata de ejecuciones innecesarias de *handoff* durante un corto intervalo de tiempo (Gu y cols., 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*.

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 y cols., 2000).

Finalmente, 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

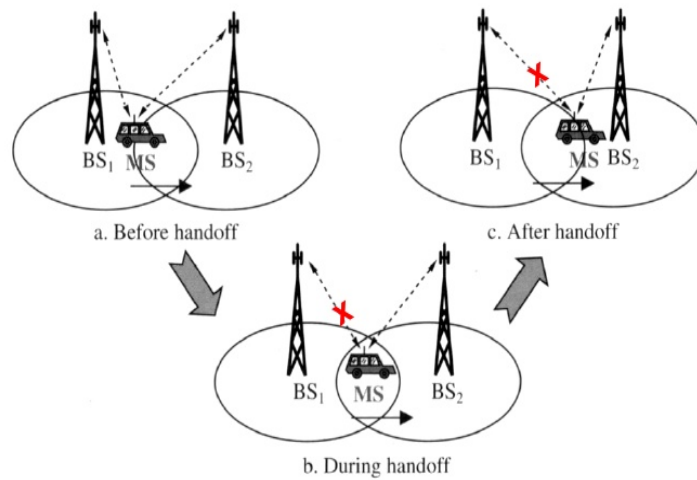


Figura 2.9: Ejemplo de ejecución de un mecanismo de *handoff*. **HACER UNA PROPIA**

posible durante la etapa de decisión de *handoff* (Yang y cols., 2004).

2.4. Importancia del *handoff*

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 y cols., 2012), (Berghaus y Back, 2016).

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 aún basadas en distintas tecnologías inalámbricas (Villar, 2009).

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.

Asimismo, conforme se desarrollan nuevos avances en el tema, estos mecanismos se vuelven cada vez más rápidos e imperceptibles para el usuario (Engineering, 2011), lo que resulta en un problema menos para el usuario móvil al no preocuparse por acceder a una nueva red en situaciones de movilidad entre celdas o *APs*.

2.5. Estrategia de diseño *crosslayer* - CONTINUAR

En la actualidad, existe una gran variedad de investigaciones y desarrollo de protocolos y aplicaciones orientadas a las WSN (? , ?); sin embargo, la gran mayoría de ellas han sido desarrolladas bajo el concepto tradicional de protocolos por capas del modelo OSI. 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, tomada de (? , ?).

7	Application
6	Presentation
5	Session
4	Transport
3	Network
2	Data link
1	Physical

Figura 2.10: Distribución de capas del Modelo OSI.

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 (? , ?); 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. Estas estrategias han sido llamadas como *estrategias de diseño crosslayer* y su comportamiento puede apreciarse en la figura 2.11, tomada de (? , ?) .

Los mecanismos de handoff implementan diferentes criterios para determinar el momento o situación oportuna para ejecutar el traspaso de una red a otra. Sin embargo, la manera común y general de realizar estos mecanismos se basa en trabajar siempre exclusivamente en una de las capas del modelo OSI (? , ?). La estrategia de diseño entre capas (Crosslayer) rompe con esos esquemas de trabajo y propone la implementación de un trabajo colectivo entre múltiples capas; dígame capa de Transporte y capa de Control de Acceso al Medio (MAC), por ejemplo. En donde se permite una comunicación directa entre protocolos de diferentes capas, o compartiendo variables de las mismas. Existen muchas propuestas de diseño crosslayer en la literatura; los autores en (? , ?) presentan un estudio de varias propuestas de diseño crosslayer.

En (? , ?) se propone una clasificación del crosslayer, en las que se muestran las posibles interacciones entre capas, ya sea una interfaz nueva entre capas separadas, o una unión entre capas adyacentes. 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. Estas propuestas pueden apreciarse de mejor manera en la figura 2.12 tomada de (? , ?), donde cada rectángulo representa una capa del modelo OSI.

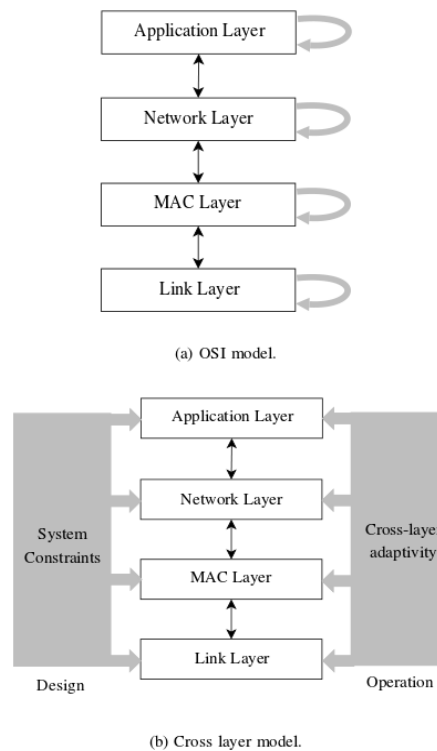


Figura 2.11: Diferencia de operación y filosofía entre el modelo OSI tradicional y *cross-layer*.

Después de la investigación realizada, es posible aproximarse a la idea de 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. De acuerdo a ello, emergen algunas preguntas: ¿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 traspaso?. 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*.

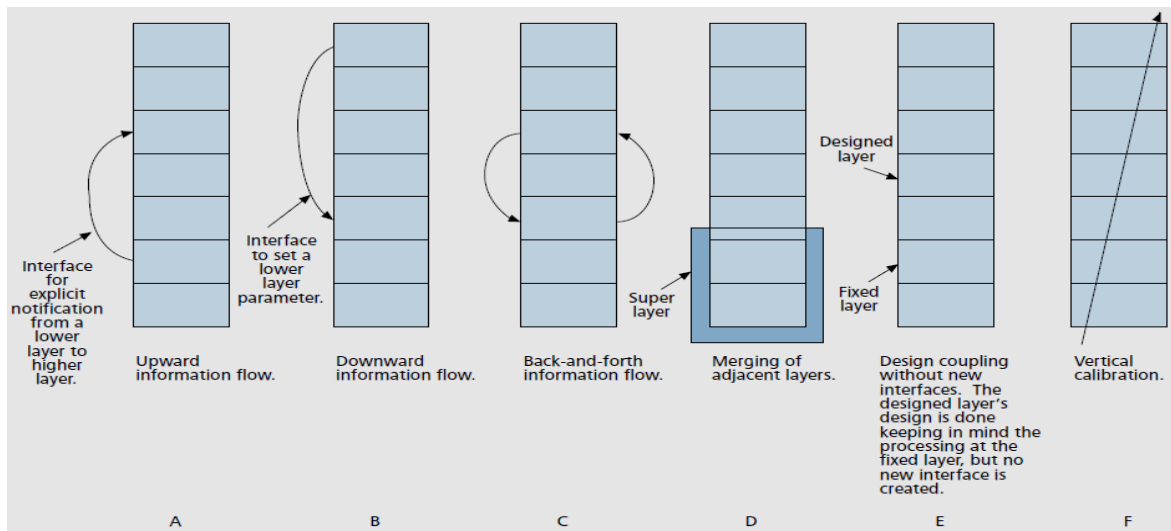


Figura 2.12: Distintos tipo de propuestas de diseño *crosslayer*.

Capítulo 3

Trabajos relacionados

A continuación, se presentan 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*.

3.1. Celular - CONTINUAR

En (?, ?, ?), se aborda la temática de las redes de comunicación celular de cuarta generación. Para las cuales se pretenden desarrollar nuevas estrategias de decisión para el mecanismo de traspaso para los dispositivos móviles en la red. Muestra de ello, son las propuesta 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 (VHDF, por sus siglas en inglés). 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, condiciones 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 de handoff de mayor eficiencia.

3.2. WLAN - CONTINUAR

En WLAN también existe el problema de handoff, puesto que puede existir movilidad entre los dispositivos de la red. Por ello, en (?, ?, ?, ?) se describen soluciones a problemáticas existentes en dichas redes, sobretodo haciendo un enfoque hacia la calidad del servicio.

Los autores en (?, ?, ?) 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 (?, ?) se realizan experimentos utilizando Protocolos de Transferencia de Archivos (FTP) y aplicaciones de Voz IP (VoIP) con fines comparativos entre criterios considerando potencia de señal y retransmisión de tramas.

3.3. WSN - CONTINUAR

Según se menciona en (?, ?), 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 solo poseen usar un canal a la vez; así como los enlaces de baja potencia y desconfiables, dado que son críticos para evitar la problemática del efecto ping-pong.

Capítulo 4

Metodologia de Investigación

En este capítulo se aborda y explica a detalle la metodología aplicada para el desarrollo del protocolo propuesto en el presente trabajo de investigación, realizando un énfasis especial en la revisión del estado del arte (Esquema de Fundamentos) realizada, pues con ella se plantearon las bases para el diseño del mecanismo de *handoff*.

4.1. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se propuso la metodología mostrada en la figura 4.1:

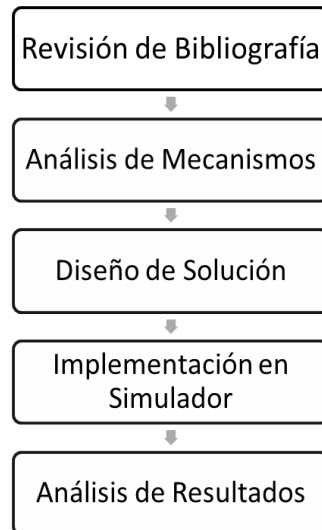


Figura 4.1: Metodología de investigación propuesta

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 enfoca 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.

4.2. Revisión de Bibliografía

La revisión bibliográfica o del estado del arte se refiere a la búsqueda y análisis de todos aquellos trabajos, o al menos los más relevantes, que se han hecho en el área de la temática de la investigación, en este caso del *handoff*.

Sin embargo, una revisión de tan basta información requiere una metodología propia para su análisis. Ejemplo de ella es la revisión sistemática propuesta por Araujo Alonso (2011), la cual plantea las etapas o pasos mostrados en la figura 4.2 basados en los principios del método científico. Y que, aunque esta metodología se está pensada para su aplicación al estudio de la salud, permite ser aplicable a otras áreas de investigación como la presentada en este proyecto de tesis.

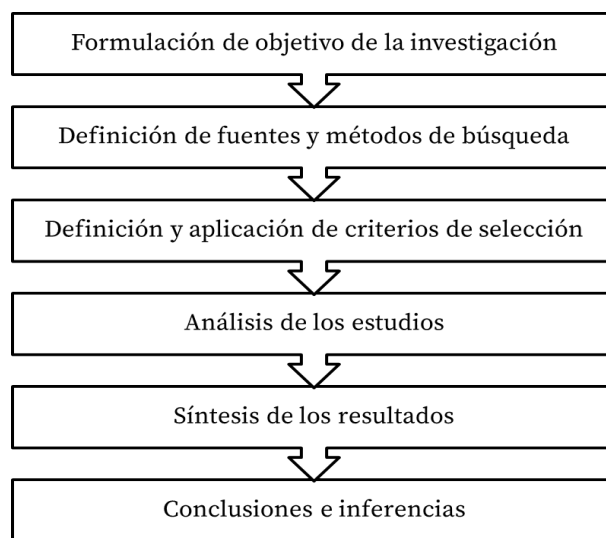


Figura 4.2: Metodología de revisión sistemática.

El primero de estos pasos hace referencia a la formulación del objetivo de la investigación. Este paso ha sido cubierto y descrito en el Capítulo 1.

El segundo de estos pasos habla sobre la «Definición de fuentes y métodos de búsqueda». En este caso, no se especificaron fuentes exclusivas de consulta con el objetivo de no limitar precisamente el banco de datos de información a consultar. Sin embargo, algunas de las fuentes de información más consultadas se muestran en la figura 4.3.

Sobre la «Definición y aplicación de criterios de selección», una lista de las *key words* (del inglés, palabras clave) utilizadas se muestra enseguida. Estas palabras clave fueron utilizadas en inglés por ser éste el idioma universal, y dado que la gran mayoría de las investigaciones y trabajos consultados se desarrollaron en dicho idioma. Además, fueron utilizadas de manera aleatoria; es decir, en algunas ocasiones se combinaron unas de ellas, y en otras se aplicó otra combinación de las mismas.



Figura 4.3: Algunas fuentes de investigación consultadas.

- *handoff* o *handover*
- *WSN*
- *crosslayer* o *cross layer*
- *802.15.4*

Sobre los resultados que arrojó cada una de las bases de datos en su momento, se filtraron solo los resultados más relevantes de acuerdo a la misma base de datos. Este proceso busca aquellos trabajos de investigación que han sido descargados o consultados una mayor cantidad de veces. Con ello, se aseguró tomar como referencia investigaciones reconocidas.

Sobre el proceso de «Análisis de los estudios», se filtraron los resultados arrojados no solo por relevancia, sino también se consideró la fecha de publicación como criterio puesto que la investigación buscó tomar como marco de referencia las últimas investigaciones realizadas en el tiempo. No obstante, en ocasiones existieron referencias con fuerte valor reconocido, los cuales se decidieron no filtrar y mantenerlas como investigaciones de apoyo.

También, debe mencionarse que de los trabajos encontrados, se aplicó una post clasificación de los mismos. Separando las investigaciones por tecnología inalámbrica utilizada en la red, tipo de *handoff*, existencia de diseño *crosslayer* y aplicación. Aplicando con esta actividad la etapa de «Síntesis de resultados».

Finalmente durante la etapa de «Conclusiones e inferencias», se tomó lectura de dichos 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 eficiencia.
- En general, los mecanismos de *handoff crosslayer* propuestos para *WSN* consideran a la capa *MAC* como integrante esencial del criterio.
- Dadas las características del protocolo de *handoff crosslayer WSN-HaDaS* (como su implementación dentro de un mecanismo estándar de comunicación como el *TCP*), resulta el mejor candidato como protocolo base.
- 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.

4.3. Análisis de Mecanismos

Aquí, hablar sobre los top 3 mecanismos de HO encontrados, resaltando los beneficios de WSN-HaDaS.

4.4. Diseño de Solución

Partiendo de WSN-HaDaS como base, mencionar las modificaciones a realizar: Consideraciones de otras capas y parámetros como de congestión de red.

4.5. 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.

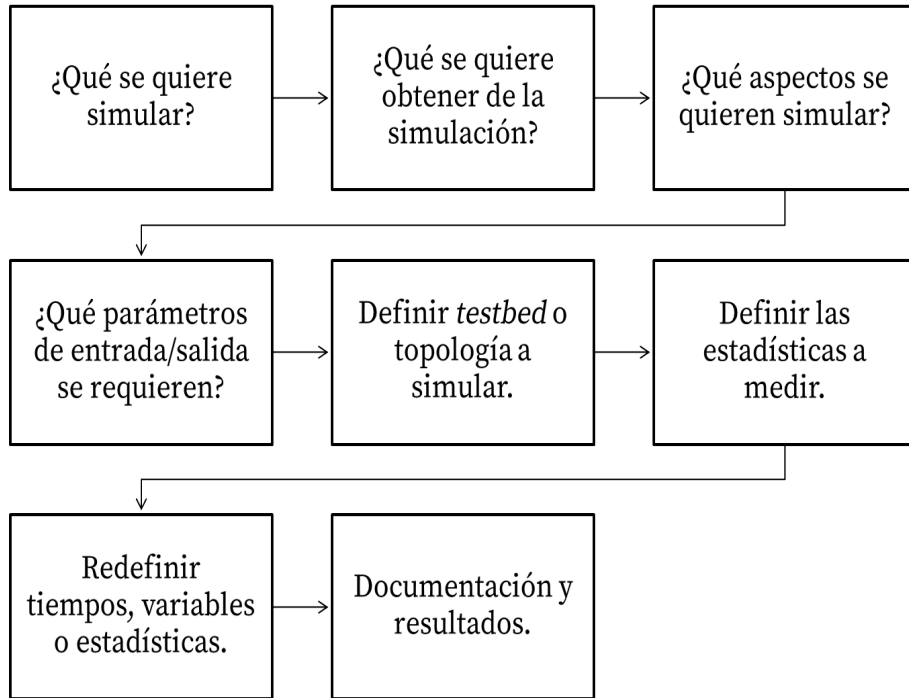


Figura 4.4: Algunas fuentes de investigación consultadas.

Esta etapa a su vez, requirió de una planeación o metodología a seguir, la cual se presenta en la figura 4.4.

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.

4.6. Análisis de Resultados

Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Todas estas borrascas que nos suceden son señales de que presto ha de serenar el tiempo y han de sucedernos bien las cosas; porque no es posible que el mal ni el bien sean durables, y de aquí se sigue que, habiendo durado mucho el mal, el bien está ya cerca. Así que, no debes congojarte por las desgracias que a mí me suceden, pues a ti no te cabe parte dellas. Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Capítulo 5

Desarrollo de protocolo de *handoff*

Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Todas estas borrascas que nos suceden son señales de que presto ha de serenar el tiempo y han de sucedernos bien las cosas; porque no es posible que el mal ni el bien sean durables, y de aquí se sigue que, habiendo durado mucho el mal, el bien está ya cerca. Así que, no debes congojarte por las desgracias que a mí me suceden, pues a ti no te cabe parte dellas. Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Capítulo 6

Evaluación y análisis de resultados

Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Todas estas borrascas que nos suceden son señales de que presto ha de serenar el tiempo y han de sucedernos bien las cosas; porque no es posible que el mal ni el bien sean durables, y de aquí se sigue que, habiendo durado mucho el mal, el bien está ya cerca. Así que, no debes congojarte por las desgracias que a mí me suceden, pues a ti no te cabe parte dellas. Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones

Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

Todas estas borrascas que nos suceden son señales de que presto ha de serenar el tiempo y han de sucedernos bien las cosas; porque no es posible que el mal ni el bien sean durables, y de aquí se sigue que, habiendo durado mucho el mal, el bien está ya cerca. Así que, no debes congojarte por las desgracias que a mí me suceden, pues a ti no te cabe parte dellas. Y, viéndole don Quijote de aquella manera, con muestras de tanta tristeza, le dijo: Sábeta, Sancho, que no es un hombre más que otro si no hace más que otro.

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
- Araujo Alonso, M. (2011, nov). Las revisiones sistemáticas (I). *Medwave*, 11(11). Descargado de <http://www.medwave.cl/link.cgi/Medwave/Series/MBE01/5220> doi: 10.5867/medwave.2011.11.5220
- 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. (2016). Requirements Elicitation and Utilization Scenarios for In-Car Use of Wearable Devices. doi: 10.1109/HICSS.2015.127
- 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>
- Engineering, C. (2011). An Efficient Fast Handoff Scheme with Network Mobility in Heterogeneous Networks.
- Española, R. A. (2014). Diccionario de la lengua española. *Barcelona: Espa{ña} Libros*.
- Etworks, L. A. C. N. (2004). Communications a S Urvey of T Opologies and. *Communications*, 6(3), 18–31.

- 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
- 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). Reducing Ping-Pong Handover Effects In Intra E- UTRA Networks. , 1–5. 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.
- 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 Perfor-

- mance 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
- 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
- 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
- Pahlavan, K., Krishnamurthy, P., Hatami, A., Ylianttila, M., Makela, J., Pichna, R., y Vallström, J. (2000, apr). Handoff in hybrid mobile data networks. *IEEE Personal Communications*, 7(2), 34–47. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1080/01422419908228843> <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=839330> doi: 10.1109/98.839330
- 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
- Ramachandran, K., Rangarajan, S., Lin, J. C., y Laboratories, B. (2006). Make-Before-Break MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks. , 00(c).
- 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> doi: 10.1109/WCNC.2009.4917709
- Siddiqui, F., y Zeadally, S. (2008, apr). An efficient wireless network discovery scheme for heterogeneous access environments. *International Jour-*

- nal 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
- Simulator, N. (1989). *ns-2*.
- Srivastava, V., y Motani, M. (2005). Cross-layer design: a survey and the road ahead. *Communications Magazine, IEEE*, 43(12), 112–119.
- 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). Cross-layer energy efficiency analysis and optimization in WSN. , 138 –142. Descargado de <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5461522&url=http://ieeexplore> doi: 10.1109/ICNSC.2010.5461522
- 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. , 1(Noviembre), 1–9. 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).
- 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>
- 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. 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 commu-

nication 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