



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Departamento de Informática de Sistemas y
Computadores

Máster en Ingeniería de Computadores y Redes

ESTUDIO DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE
DISPOSITIVOS MÓVILES EN REDES
OPORTUNÍSTICAS

TRABAJO QUE PRESENTA:

JORGE HERRERA TAPIA

DIRECTORES:

DR. ENRIQUE HERNÁNDEZ ORALLO

DR. PIETRO MANZONI

Valencia, España

Junio de 2015

AGRADECIMIENTOS

Al Gran Arquitecto de Universo, a mi Familia, Profesores y compañeros del Departamento de Informática de Sistemas y Computadores DISCA, en especial del Grupo de Redes y Computadores.

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el *Ministerio de Economía y Competitividad, Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, Proyectos I+D+I 2014*, España, bajo subvención TEC2014-52690-R. Y la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador *SENESCYT*, así como por la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí *ULEAM*, Ecuador.

RESUMEN

El tiempo de duración de las baterías es un factor determinante que se debe considerar en el diseño, desarrollo e instalación de aplicaciones y servicios en los dispositivos móviles. Desconocer cuantos recursos consumen los programas instalados y que se están ejecutando, puede provocar que la energía eléctrica almacenada en las baterías se agote más rápido.

Los usuarios de la tecnología móvil ignoramos el impacto energético de las aplicaciones que están ejecutándose en los dispositivos, especialmente si estos programas presentan un comportamiento adaptativo. Esto se convierte en un problema, y un inconveniente para desarrolladores que deseen desplegar aplicaciones que están relacionadas con la transmisión e intercambio de información.

El objetivo de este trabajo es estudiar el consumo eléctrico asociado a una aplicación de comunicación oportunística operando bajo el modelo de Floating Content (Contenido Flotante). Esta investigación será realizada examinando las diferentes fases de operación de una aplicación ejecutándose en un dispositivo móvil, concretamente a través de análisis estadísticos básicos sobre datos tomados por una aplicación de almacenamiento de registros o logs.

Además, este trabajo permitirá analizar el impacto de este tipo de aplicaciones sobre el rendimiento de la batería, proveyendo información muy útil para los usuarios y desarrolladores. En el ámbito de las redes oportunísticas, permite saber si es o no factible la instalación de aplicaciones para estas redes, desde la perspectiva del gasto energético.

En una red inalámbrica con infraestructura, donde los dispositivos móviles permanecen conectados a un mismo punto de acceso, posiblemente sea más fácil de medir y evaluar el consumo de energía, ya que su conexión es muy simple y previsible, haciendo uso de protocolos de comunicación bien establecidos. En cambio, en las redes oportunísticas, es necesario contar con aplicaciones específicas para aprovechar cualquier intento de contacto que permita concretar la transmisión de datos. Esto significa que se requiere de programas que funcionen como servicios de manera

constante, lo que también implica un gasto energético continuo.

Para concretar la investigación, fue necesario implementar un laboratorio de redes oportunísticas usando el modelo de Contenido Flotante (Floating Content), como un mecanismo para la distribución de información en una zona delimitada geográficamente.

Al finalizar la evaluación, se demostró que el consumo energético en una red oportunística es moderadamente bajo, haciendo que sea factible y recomendable el despliegue de aplicaciones para este entorno de comunicaciones. En lo que se refiere al intercambio de información bajo el paradigma de Contenido Flotante, podemos afirmar que cuando un dispositivo móvil permanece en la *zona de anclaje*, el consumo energético de éste es aproximadamente dos veces mayor que cuando comparte información.

Como recomendación para reducir el consumo de los recursos de la batería, la aplicación solo se debería ejecutar cuando el dispositivo móvil entre en una determinada localización geográfica, en este caso una *zona de anclaje*.

ABSTRACT

The duration of batteries is a key factor that must be considered in the design and deployment of applications and services for mobile devices. The users of this technology are not aware of the energetic impact of the applications executing in their devices, especially if these applications present an adaptive behavior.

The goal of this paper is to study the power consumption associated to an opportunistic communications application. This will be achieved by analyzing the different operation stages of an application running on mobile and vehicular devices, using basic statistical analysis calculations on the data collected by a logging application. Furthermore, this will allow analysing the impact of this kind of applications regarding battery performance, providing useful information to users and developers.

The experiments were executed in an opportunistic network environment, using a floating content approach as a mechanism for information distribution in a geographically delimited zone.

Based on the results, our evaluation showed that the power consumption in an opportunistic network is moderately low, making feasible and recommendable the deployment of applications of this communications environment. Furthermore, we conclude that, in opportunistic networking, the impact on mobile device batteries is greater since the application must be running permanently. An approach to reduce the battery consumption is to have the app running only when it is in an *anchor zone*.

Also, we can state that, when a mobile device stays in the *anchor zone*, the power consumption is greater than when it is sending information. This is a consequence of the periodical swapping of protocol control information, a procedure required to receive and retransmit the packets in an *anchor zone*. Under these circumstances, the correct and adequate tuning of this process is crucial to minimize power consumption.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Metodología	3
1.4. Estructura	3
2. TRABAJOS RELACIONADOS	5
2.1. Redes Oportunísticas	5
2.2. Contenido Flotante	12
2.3. Consumo energético	14
3. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	17
3.1. Laboratorio	18
3.2. Metodología de medición.	21
4. EVALUACIÓN	25
4.1. Consumo energético durante la transmisión de datos.	25

4.2. Impacto en el rendimiento de la batería.	31
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	35
5.1. Conclusiones	35
5.2. Trabajo futuro	36
PUBLICACIONES	36
ANEXO	37
BIBLIOGRAFÍA	43

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Estructura de datos utilizada para la captura de valores.	21
4.1. Consumo de energía.	27
4.2. Comparación de los valores consumo de energía.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Cobertura redes interplanetarias y terrestres, extraído de [1].	6
2.2. Protocolos Internet versus Protocolo Bundle, extraído de [1].	7
2.3. Efectos en una red intermitente, extraído de [1].	8
2.4. Modelos de reenvío de información Internet vs. DTN, extraído de [1].	9
2.5. Modelo de ejecución Floating Content, extraído de [2].	12
2.6. Escenario de Floating Content.	13
3.1. Laboratorio de redes oportunísticas.	18
3.2. Interface de operación de la aplicación para capturar datos.	19
3.3. Flujo de datos capturados.	22
4.1. Consumo de corriente continua en la fase <i>Base</i>	26
4.2. Consumo de corriente continua en la fase <i>Running</i>	26
4.3. Consumo de corriente continua en la fase <i>Linked</i>	27
4.4. Gasto energético en cada fase.	29
4.5. Impacto de la transmisión de datos.	32
4.6. Impacto del tiempo de permanencia en la zona de anclaje.	33
1. Flujograma de la aplicación de captura de datos.	38
2. Interface de operación de la aplicación para capturar datos.	39

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El uso de los dispositivos móviles se ha proliferado en los últimos años, llegando a convertirse en una herramienta de uso diario, e incluso creando una determinada dependencia entre los usuarios y las aplicaciones, a las cuales se puede acceder utilizando diferentes tipos de redes de transmisión inalámbrica de datos, como por ejemplo tecnología celular, WLAN (Wireless LAN), y Bluetooth, entre las principales.

La mayoría de estas redes inalámbricas se despliegan utilizando una infraestructura de transmisión de datos. Pero así mismo existen otros tipos de redes que para su correcto funcionamiento no requieren infraestructura alguna, donde la transmisión y recepción de datos se realiza de dispositivo a dispositivo de manera directa, es decir se crea una red punto a punto.

Las redes inalámbricas oportunísticas, de acuerdo a Ferreti et al. [3] y Huang et al. [4] permiten el establecimiento de comunicación entre dispositivos móviles en lugares donde no hay disponibilidad de una infraestructura de transmisión de datos. El envío y recepción de información solo depende de la movilidad y oportunidad que tengan de establecer contacto con otros dispositivos, siempre y cuando estén dispuestos a colaborar para este efecto.

1.1. Motivación

Debido a la importancia en la utilización de este tipo de redes basadas en la comunicación directa entre dispositivos móviles, se identifica que uno de los principales factores que se convierte en problema es el consumo de energía en la transmisión de datos, desde que empieza el proceso de descubrimiento de dispositivos hasta el envío de la información.

Para hacer un análisis lo más cercano a la realidad se procedió a capturar datos sobre un dispositivo móvil, en determinados estados de funcionamiento de una aplicación de redes oportunísticas en diferentes lapsos de tiempo, a los que se denominan *fases*. Esto permitió hacer una aproximación del gasto energético en base a la diferencia de los valores eléctricos durante esos períodos de tiempo.

Los datos para el análisis fueron obtenidos a partir de un escenario de redes oportunísticas utilizando la plataforma de encaminamiento *Liberouter*, bajo el paradigma de intercambio de datos de *Contenido Flotante (Floating Content)*.

Como equipo cliente se empleó un teléfono inteligente con sistema operativo Android. Liberouter es uno de los resultados del proyecto SCAMPI [5], financiado por la Unión Europea. La plataforma SCAMPI está basada en actividades del Grupo de Investigación de Redes Tolerantes a Retardos DTNRG (Delay-Tolerant Networking Research Group) del Internet Research Task Force (IRTF).

La investigación sobre esta tecnología de redes oportunísticas es motivadora, debido a que es una alternativa relativamente nueva para la transmisión de datos, en lugares donde no es posible contar con una infraestructura fija de Internet. Además, esto se ha convertido en un reto para investigadores y desarrolladores de aplicaciones orientadas a este tipo de redes emergentes.

1.2. Objetivos

Este trabajo de fin de máster tiene como objetivos:

- Estudiar el gasto energético asociado a una aplicación de redes inalámbricas oportunísticas, bajo el modelo de Floating Content (Contenido Flotante).
- Analizar el impacto de este tipo de aplicaciones para redes oportunísticas con respecto al rendimiento de la batería, proporcionando información útil para

los usuarios y diseñadores de aplicaciones.

1.3. Metodología

La realización de este trabajo se basó en el estudio de trabajos de investigación para establecer el estado del arte concerniente al gasto energético en redes inalámbricas oportunísticas.

Para obtener los datos se utilizó la experimentación con dispositivos de comunicación, con los cuales se configuró un escenario de comunicación oportunística basado en *Floating Content*. Una vez que se obtuvieron los datos, se evaluaron y se procedió a formular las conclusiones.

1.4. Estructura

La estructura de este trabajo es la siguiente: en el segundo capítulo se presentan algunos detalles de las investigaciones y trabajos relacionados con las redes inalámbricas oportunísticas, con el Contenido Flotante, y con el gasto energético de este tipo de transmisión inalámbrica de datos, en el tercer capítulo se hace la descripción del experimento y del proceso de obtención de datos.

En el cuarto capítulo se realiza la evaluación de los resultados del experimento. Finalmente, en el quinto capítulo, se presentan las conclusiones y se hace referencia a trabajos futuros.

CAPÍTULO 2

TRABAJOS RELACIONADOS

2.1. Redes Oportunísticas

Debido al particular funcionamiento de las redes inalámbricas oportunísticas, en algunos trabajos de investigación como Niu et al. [6], los autores las refieren como una subclase de las Redes Tolerantes a Retardo, también conocidas como DTN [7] (Delay Tolerant Networks). Este tipo de redes está siendo promovido por el grupo *Internet Research Task Force*.

A continuación y en base al trabajo de Forrest Warthman et al. [1] explicaremos como funcionan las DTN, haciendo una breve comparación con el modelo de transmisión TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol). Las especificaciones detalladas de estas redes se pueden encontrar en <http://www.dtnrg.org>.

Haciendo la misma analogía que Internet, las DTN [1] son redes formadas por redes más pequeñas. Esta tecnología fue propuesta por el *Interplanetary Internet Special Interest Group (IPNSIG)*, <http://www.ipnsig.org>. Las DTN fueron desarrolladas originalmente para establecer comunicación interplanetaria, y debido a su modelo de transmisión de datos están siendo utilizadas en aplicaciones civiles y militares en nuestro entorno (planeta Tierra), donde las redes son diseñadas para ser

tolerantes a interrupciones a través de enlaces redundantes. La figura 2.1 nos da una idea del campo de acción e interacción que puede existir entre DTN y las redes normales que disponemos en la superficie terrestre.

El despliegue de las DTN se puede hacer sobre diferentes tecnologías de redes inalámbricas, como las basadas en radio frecuencia (WiFi, Bluetooth), redes ópticas de corto alcance, y acústicas (sobre y debajo el agua). Esto da lugar al diseño e implementación de aplicaciones para diversos escenarios que pueden tener o no infraestructura de telecomunicaciones.

En lo que se refiere al modelo de transmisión de datos, Internet se basa en la conmutación interactiva de *paquetes IP (Internet Protocol)*, que demanda la existencia de un canal de comunicación bidireccional, que sea estable de extremo a extremo, continuo e interrumpido. Por lo general estos enlaces cuentan con un ancho de banda simétrico, con una latencia de entrega de paquetes expresado en mili segundos, haciendo que existan bajas tasas de error en la entrega de la información.

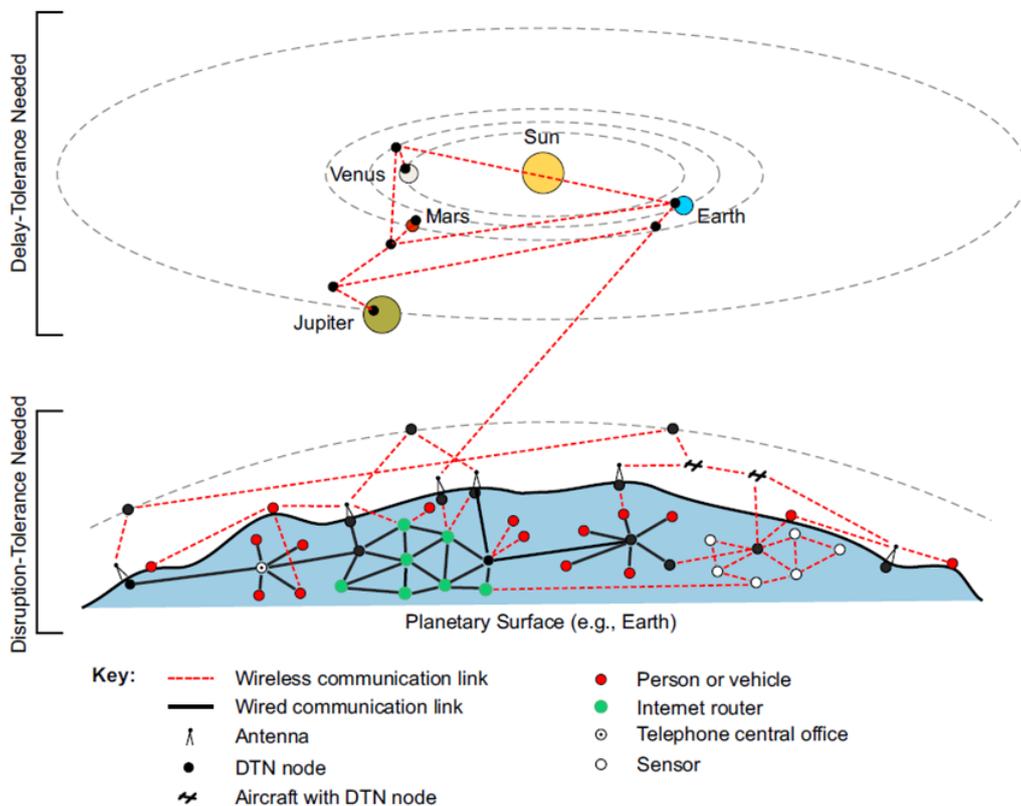


Figura 2.1: Cobertura redes interplanetarias y terrestres, extraído de [1].

Por otro lado, en DTN la transmisión de datos está basada en *mensajes o bundles*, que son recibidos y luego reenviados por los nodos. A este método se lo conoce en redes como *Store and Forward*, y se ejecuta a través del *Bundle Protocol (BP)*. A diferencia de Internet, en las DTN el tiempo de entrega de información se extiende, porque los canales de comunicación y enlaces de datos son intermitentes debido a la movilidad de sus nodos transmisores y/o receptores.

En la figura 2.2, se compara la pila de protocolos *IP* (Internet Protocol) con los protocolos DTN. El protocolo Bundle funciona al nivel de la capa de Aplicación, y trata juntos a los protocolos de las capas inferiores, haciendo que la aplicación pueda comunicarse a través de estos con los protocolos de las capas más bajas, en condiciones que involucren largos periodos de interrupción de la transmisión de datos.

El protocolo Bundle se implementa a través del uso de agentes que se encargan del almacenamiento y reenvío de los mensajes entre los *nodos bundle (entidades*

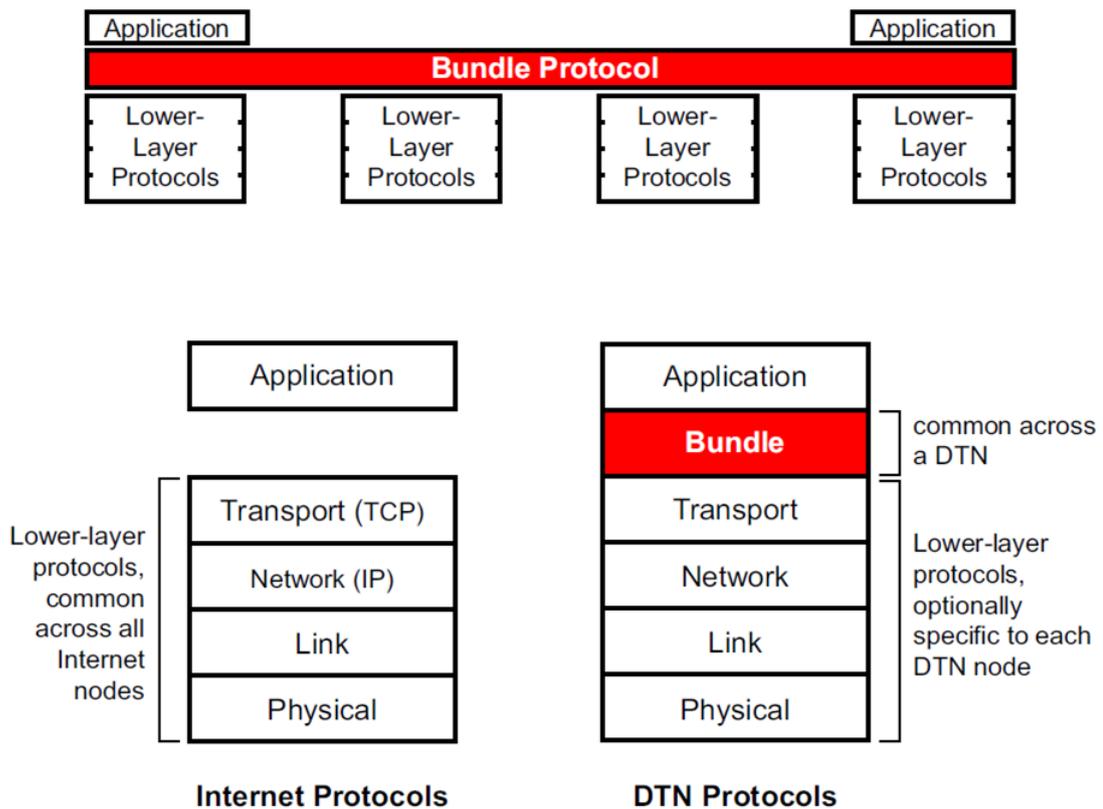


Figura 2.2: Protocolos Internet versus Protocolo Bundle, extraído de [1].

que participan en una comunicación de BP). Al igual que en el modelo TCP donde los datagramas grandes son segmentados en unidades más pequeñas. En DTN es similar, un agente puede dividir un mensaje en fragmentos, con la posibilidad de que este agente DTN re-ensamble los fragmentos del mensaje cuando llegue al nodo destino.

El retraso en la entrega de la información en las DTN puede variar de segundos hasta incluso días, dependiendo del tiempo que dure la intermitencia de la comunicación o el restablecimiento de los enlaces. La figura 2.3 ilustra esta situación. Este proceso se lo puede comparar con el envío de mensajes a través del correo postal. A diferencia de Internet, en DTN la transmisión solo ocurre cuando los nodos interesados tienen la oportunidad de establecer algún tipo de contacto. Las DTN no demandan de un canal de comunicación con ancho de banda simétrico.

Debido a que parte del funcionamiento de las DTN se basa en el almacenamiento, los nodos requieren de memoria para alojar los mensajes por un tiempo determinado,

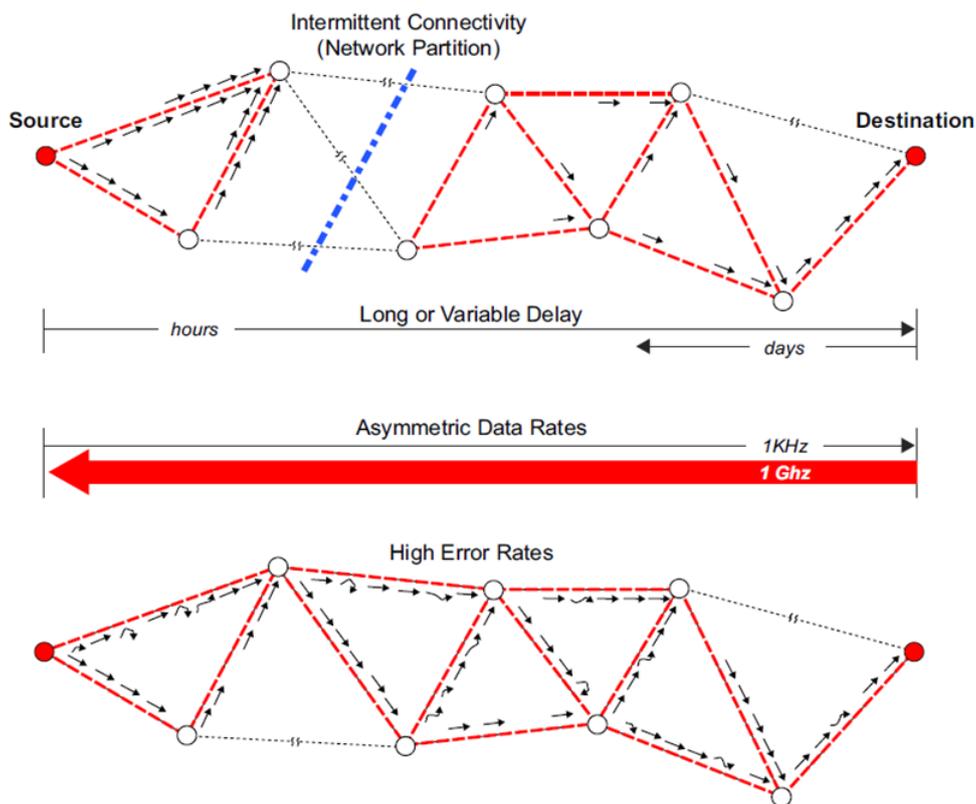


Figura 2.3: Efectos en una red intermitente, extraído de [1].

denominándose a esto como *almacenamiento o memoria persistente*. A diferencia de los encaminadores utilizados de Internet, que usan chips de baja capacidad de almacenamiento.

La figura 2.4, nos ayuda a comparar estos modelos de transmisión de datos, en donde se aprecian los recursos utilizados en el reenvío de la información. En el modelo DTN está representado el uso de almacenamiento persistente, a diferencia del modelo TCP/IP que no lo requiere.

En las DTN, el contacto de los nodos puede ocurrir de manera programada y de modo oportunístico. En el primer caso, los interesados saben cuando y donde se producirá el encuentro, porque disponen información sobre el desplazamiento y posición de los nodos, como por ejemplo un tren llegando a una estación.

El segundo caso, el contacto oportunístico, se da en un lugar y momento no determinado. Esto depende de la oportunidad del encuentro que se presente en el entorno de movimiento, y de la cantidad de nodos que existan, dando lugar a que

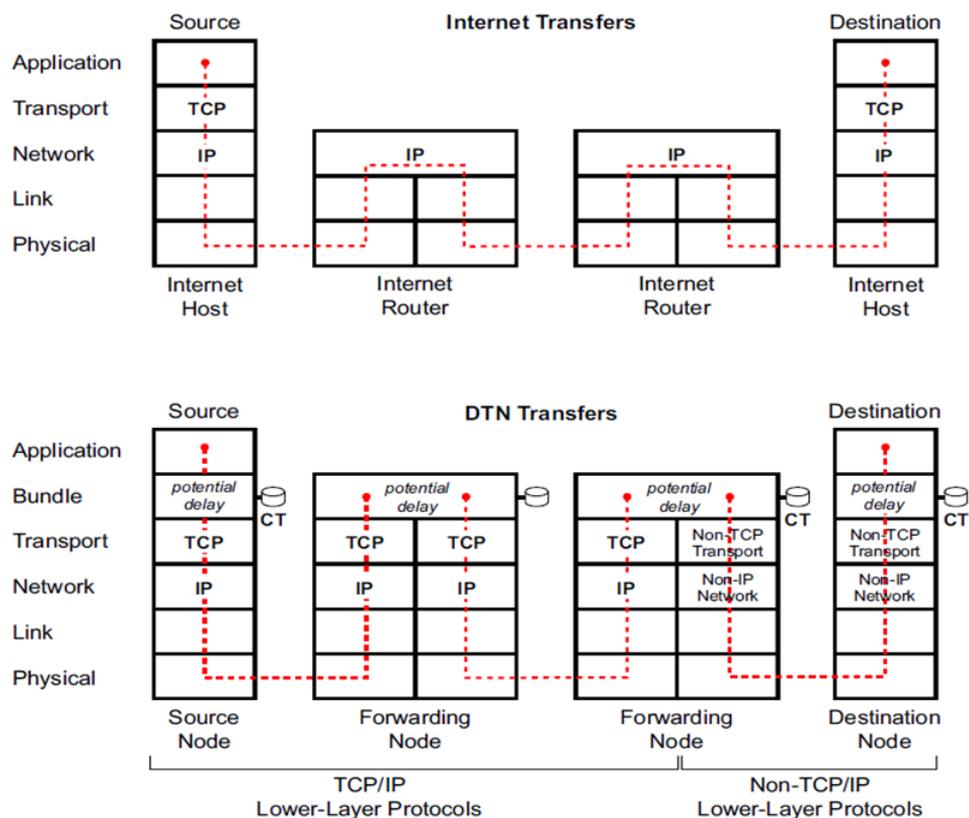


Figura 2.4: Modelos de reenvío de información Internet vs. DTN, extraído de [1].

se creen las redes inalámbricas oportunísticas.

El proceso de comunicación en las redes oportunísticas es caracterizado por la intermitencia y corta duración de los contactos entre pares de dispositivos móviles. Este modelo es una alternativa a considerar para entornos donde no hay disponibilidad de una infraestructura de transmisión de datos. Debido a esta razón, el diseño e implementación de protocolos y aplicaciones para este tipo de redes se ha convertido en un reto para los investigadores.

El método de compartir información de las redes oportunísticas está basado en la diseminación de los mensajes de manera epidémica. Vahdat et al. [8], en su artículo se refieren a este tipo de redes como Redes Parcialmente Conectadas (debido a la intermitencia de los contactos) y además detallan en profundidad su propuesta de encaminamiento de los mensajes para estas redes inalámbricas.

Los protocolos de encaminamiento en este paradigma de comunicación oportunística, están habilitados para almacenar y reenviar la información entre dispositivos móviles. Estos definen el modo en que los mensajes puedan ser distribuidos entre los nodos.

Existen clasificaciones de los protocolos, de acuerdo a diferentes criterios, por ejemplo en Poonguzharselvi et al. [9] los autores proponen una taxonomía basada en el reenvío de la información. Mientras que Pelusi et al. [10] plantean una clasificación de acuerdo a la utilización o no de infraestructura de comunicaciones, los autores también explican el uso de aplicaciones de las redes oportunísticas en casos de estudios reales como: el proyecto ZebraNet [11], The Huggle Project (<http://www.huggleproject.org>), entre otros. En estos estudios se analizan los modelos de movimiento y el rendimiento de la transmisión de datos de estas redes intermitentes.

De igual manera, en Tornell et al. [12], los autores proponen una detallada clasificación de los protocolos de acuerdo a la utilidad y comportamiento de cada uno de estos algoritmos. Además, se detalla la evolución de estos protocolos de encaminamiento, así como también las evaluaciones que han sido realizadas sobre su rendimiento.

Acerca de los protocolos de encaminamiento para redes oportunísticas, los autores de [13] plantean mejoras en el encaminamiento y seguridad para este tipo de redes, mientras que Goyal [14] y Lilien [15] en sus investigaciones resaltan la importancia de la privacidad en los entornos inalámbricos oportunísticos.

También se encuentran investigaciones con modelos analíticos en [16–18] que combinados con información de trazas reales, plantean mejorar el rendimiento de los protocolos a través de la extensión del tiempo de vida de los mensajes (TTL), y de la variación del tamaño de mensajes, con diferentes patrones de propagación de la información en un entorno de comunicación intermitente.

En algunos trabajos de investigación, como Hernández et al. [19], los autores realizan un estudio analítico, en el cual proponen y evalúan dos nuevos métodos de caracterización del tiempo entre contactos de los nodos en una red oportunística de comportamiento epidémico, desde una perspectiva del tiempo y espacio. Sus modelos son evaluados a través de simulaciones, utilizando trazas reales y sintéticas, demostrando de esta manera la efectividad de sus modelos. De igual manera en [20,21] los autores evalúan el rendimiento y el proceso de difusión de los mensajes en una red oportunística.

En cambio, a nivel de la capa de acceso al medio, los autores de [22,23] realizan otro análisis y estudian el impacto de la velocidad, posición y cambio de vecindad de los dispositivos móviles, como factores influyentes en el desempeño de las redes.

En este contexto de transmisión de datos entre dispositivos móviles, Pajevic, Chaintreau y Gaito [24–26], en sus trabajos de investigación analizan el impacto de la movilidad humana de acuerdo a la oportunidad de contacto que mantienen. En el artículo de Forster et al. [27], los autores presentan los resultados de un experimento real, con dispositivos móviles y sensores que fueron llevados por empleados en su lugar de trabajo, para demostrar y estudiar los efectos de la movilidad en un contexto laboral, definiendo y utilizando una nueva métrica denominada distancia social.

Estos trabajos citados enfatizan la importancia de este tipo de tecnología inalámbrica, para analizar el comportamiento y conducta humana de acuerdo a su movilidad e intereses, planteando mejoras en términos de latencia y rendimiento de los protocolos para las redes oportunísticas.

2.2. Contenido Flotante

En el contexto de las redes oportunísticas, el Contenido Flotante es conocido por su acrónimo en inglés como *Floating Content* [28], [2]. En este importante modelo de comunicación, el intercambio y la distribución de la información son realizados en un área delimitada geográficamente, denominada **zona de anclaje** y conocida por su denominación en inglés como **anchor zone**.

Una *zona de anclaje* es una ubicación geográfica donde los dispositivos móviles (portados por entes en movimiento, como por ejemplo coches, buses, personas entre otros) pueden intercambiar o dejar su contenido que estuvo flotante en otras ubicaciones geográficas. Esta dinámica es ilustrada en la parte izquierda de la figura 2.5. La zona de anclaje está representada por el círculo amarillo, y los nodos que intercambian información o mensajes están representados por círculos rojos.

La ejecución del Floating Content está basado en tres parámetros relacionados con la *zona de anclaje*: (P, r, a) [29], donde (P) es definido como el punto central de esta zona (en esta ubicación física el intercambio de mensajes debe alcanzar el máximo nivel). Los valores de (P) podrían ser configurados usando GPS (Sistema de Posicionamiento Global), métodos de triangulación WLAN (Wireless LAN) por

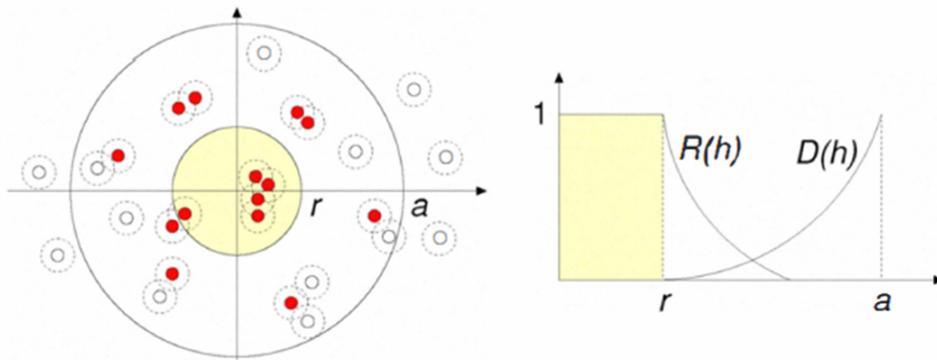


Figura 2.5: Modelo de ejecución Floating Content, extraído de [2].

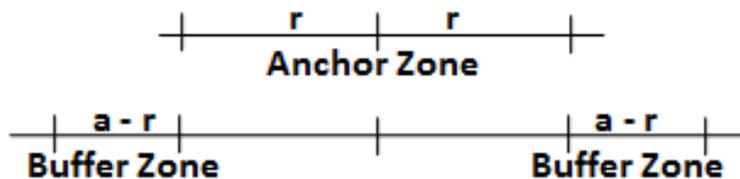
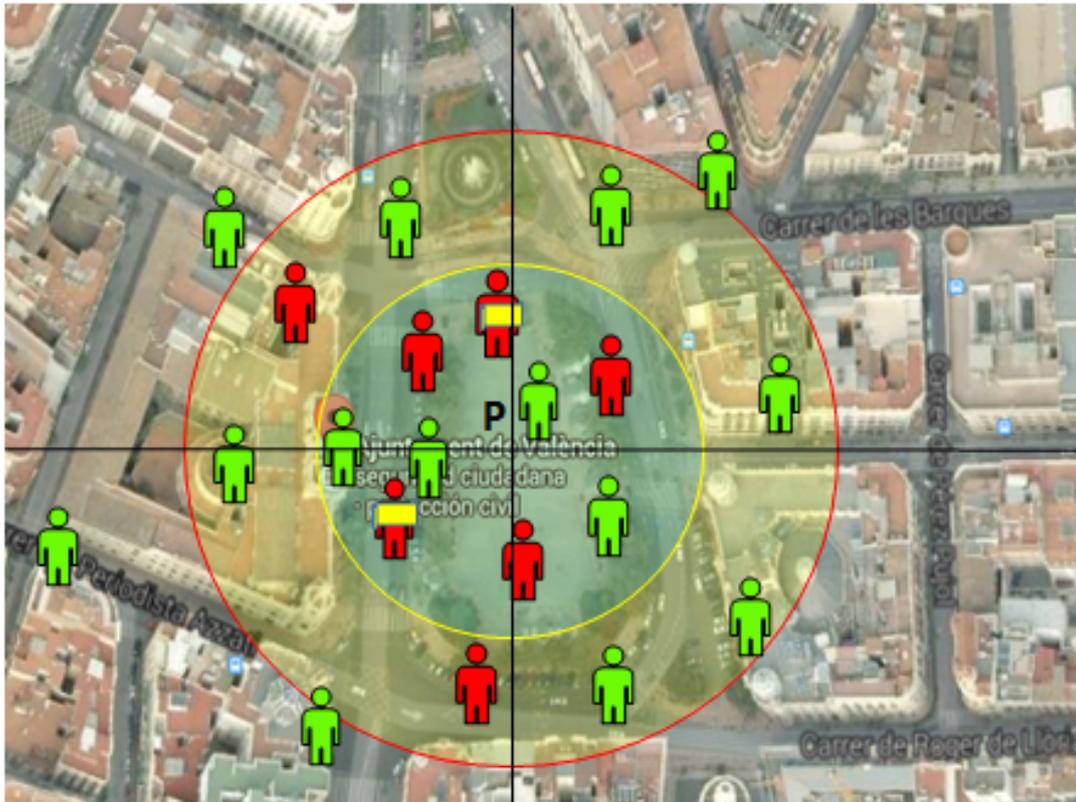


Figura 2.6: Escenario de Floating Content.

medio de puntos de accesos inalámbricos, estaciones base celulares o algún otro sistema de localización que tengan disponible los teléfonos inteligentes.

El círculo central con radio (r) define el *área de anclaje*, donde varios de los dispositivos móviles pueden compartir su contenido, mientras otros pueden aceptar y almacenar una copia de esa información de acuerdo a sus intereses, y estos dispositivos replicarán la misma si fuese necesario.

La probabilidad de réplica $R(h)$ de los mensajes es alta cuando los nodos están en la zona de anclaje, es decir en el área determinada por (r), y ésta probabilidad va disminuyendo cuando entra en la zona de amortiguamiento ($a-r$). En cambio, la

probabilidad de borrado de los mensajes $D(\mathbf{h})$ aumenta, cuando se acerca al umbral (\mathbf{a}) . En la parte derecha de la figura 2.5, se ilustra gráficamente. Estas probabilidades están estimadas en función de la distancia (\mathbf{h}) entre los nodos móviles y el centro (P) .

El *contenido flotante* es también parametrizado con un determinado tiempo de vida para los mensajes, con el objetivo de optimizar el almacenamiento persistente en los dispositivos móviles de los usuarios.

Cuando los usuarios salen de la *zona de anclaje*, y entran en un área de amortiguamiento (conocida por su equivalente en inglés como *buffer zone*), la probabilidad de réplica de los mensajes decrece, así como, los dispositivos móviles van alejándose del punto central P , la oportunidad de que los datos sean borrados aumenta.

La figura 2.6 también ilustra una ubicación real de una ciudad, donde las figuras en rojo representan usuarios móviles con ítems de información (cajas amarillas) para ser compartidos en la zona de anclaje. Las personas en rojo podrían ser usuarios interesados en obtener y almacenar ítems, y posiblemente replicar copias de estos, y por otra parte las personas de color verde son usuarios regulares que no están interesados en la información que está disponible en esta zona geográfica.

2.3. Consumo energético

La eficiencia energética hace referencia al consumo inteligente y optimización de la energía. En el contexto de la comunicación de dispositivos móviles, el consumo de energía es un problema crítico que afecta directamente a la operación de estos dispositivos, por la razón lógica de que la autonomía de su funcionamiento depende de la duración de la carga de la batería. La duración de la batería está determinada por la cantidad, el tipo de aplicaciones y el tiempo que se ejecutan estas en un dispositivo móvil.

En el proceso de transmisión de datos entre dispositivos móviles uno de los principales problemas es el consumo de energía, desde que empieza la fase descubrimiento entre estos equipos, hasta la entrega de los datos. Con esta breve e importante justificación, los investigadores enfocan sus esfuerzos para que sus protocolos y aplicaciones sean eficientes energéticamente.

En su artículo, Lee et al. [30] presentan una investigación basada en redes WiFi y

tecnología celular con 3G para ahorrar energía, a través del retardo en la transmisión de información. Ellos sugieren la activación y desactivación de las interfaces de red en los dispositivos móviles en determinados lugares.

El grupo de trabajo de Lee demuestra que postergando la transmisión en 100 *segundos*, la ganancia alcanzable del envío de mensajes y ahorro de energía es menos del 3%, mientras que extendiendo a 1 *hora* o plazos más largos la entrega de datos, el tráfico y el ahorro de energía se incrementan en 29% y 20%, respectivamente. Finalmente, ellos proponen un simulador basado en un modelo de distribución, con un fundamento teórico, que da lugar a estudios analíticos del rendimiento de las baterías cuando no se transmite información inmediatamente.

En el trabajo de investigación de Pathak et al. [31], y de la empresa Qualcomm [32], los autores presentan un práctico y profundo estudio para identificar y entender los factores relacionados al consumo de energía. Ellos describen el impacto de la utilización de los componentes de hardware en diferentes tipos de aplicaciones, resaltando: qué?, cómo?, cuándo? y dónde? está siendo gastada la batería de un dispositivo móvil. Proponiendo que este análisis sea considerado en el diseño de las aplicaciones, especialmente cuando estas se ejecuten ofreciendo y/o buscando un determinado servicio en otro dispositivo similar.

En cambio, los autores de [33] sugieren que las aplicaciones deben ser diseñadas en una estructura modular para optimizar los recursos de energía, planteando que los módulos deberían ser cargados y ejecutados bajo demanda.

Por otro lado, Mao et al. [34] proponen cambios a nivel de los protocolos de encaminamiento, de acuerdo a la prioridad de los nodos que reenvían la información, descartando los mensajes que fueran enviados por nodos que tengan valores bajos de batería. Este método induce a la utilización de mecanismos extras de control para la transmisión y recepción de datos.

En este mismo contexto, existen otras propuestas, como por ejemplo Kanakari et al. [35], donde los autores basan su investigación en simulaciones y trazas reales, que plantean cambios en los protocolos de comunicación, argumentando sus propiedades de efectividad y bajo consumo de energía. En esta misma línea de análisis del consumo de energía, Zhang et al. [36] proponen dos herramientas para la estimación del consumo energético. La primera es *Power Booter* que se basa en una técnica automatizada de acuerdo a un modelo matemático de descarga de la batería, que sirve para proyectar el gasto energético por cada componente de los teléfonos inteligentes.

La segunda herramienta es *Power Tutor*, que usa *Power Booter* para hacer una estimación en-línea del consumo de energía de los componentes de un dispositivo móvil, como es el caso de los teléfonos inteligentes. Esta segunda aplicación se encuentra disponible y se la puede instalar en dispositivos con sistema operativo Android.

Los diferentes trabajos citados anteriormente nos dan una visión actual de las investigaciones relacionadas con el consumo de energía en las redes inalámbricas oportunísticas, y de la tendencia hacia el desarrollo de modelos y aplicaciones capaces de explotar las particularidades de estas redes inalámbricas.

En nuestro trabajo de investigación, con el objetivo de efectuar un análisis real, se procedió a estudiar las diferentes fases de ejecución de una aplicación de redes oportunísticas en el sistema operativo de un dispositivo móvil. Esto permitió obtener una aproximación del consumo de energía, basada en la diferencia de los valores eléctricos de esos periodos de operación.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Como se indicó al inicio de este trabajo de investigación, el principal objetivo es medir el consumo energético de una aplicación de redes oportunísticas en un dispositivo móvil. Para cumplir este objetivo se procedió a montar un laboratorio de este tipo de redes bajo el modelo de Floating Content, que nos permitiera recolectar la suficiente cantidad de datos para su posterior estudio.

El cálculo de los resultados fue realizado en base a fundamentos eléctricos, que nos permitieran obtener resultados de manera rápida y precisa. Para la evaluación de los resultados se utilizaron análisis básicos de estadística.

Esta sección describe la infraestructura experimental y el procedimiento usado para efectuar las mediciones del gasto energético. En primer lugar, presentamos el esquema del hardware y de red basado en tecnología WiFi. En segundo lugar, explicamos la metodología de medición. La misma que está organizada en fases, dependiendo de la activación secuencial de las funcionalidades de la aplicación (*LibeRouter*) empleada en esta red oportunística. Se procede de esta manera debido a que cada fase tiene un gasto energético diferente.

Los datos fueron capturados usando una aplicación construida en Java, la cual

fue desarrollada específicamente para registrar valores numéricos concernientes al uso de la batería y transmisión de datos. El procesamiento de datos fue realizado fuera del dispositivo móvil, para evitar un consumo extra de energía.

3.1. Laboratorio

La figura 3.1 muestra los elementos de hardware y software utilizados en el experimento para recolectar los datos, que están organizados en tres grupos:

1. Liberouter [37] es una plataforma de red diseñada para proveer servicios de comunicación inalámbrica oportunística. Su funcionamiento está basado en el modelo de Floating Content [38]. Este sistema de transmisión de datos es parte de la plataforma de enrutamiento SCAMPI, que se ejecuta en el sistema operativo Linux en un hardware de Raspberry Pi [39], que tiene conectado una interface USB Wi-Fi (802.11b/g/n standard).

Raspberry Pi es un dispositivo de bajo costo, que permite la conexión de una amplia variedad de interfaces de hardware en sus diferentes puertos. Es-

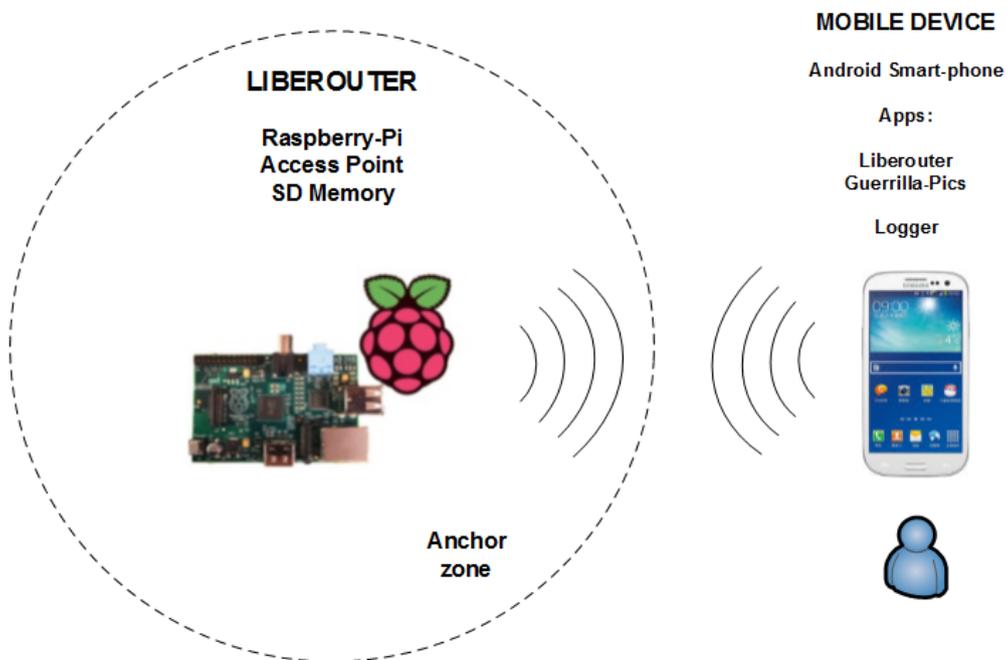


Figura 3.1: Laboratorio de redes oportunísticas.

tas características son la principal razón para usar esta clase de sistema de comunicación en nuestro experimento.

El despliegue de *Liberouter* es fácil y rápido. Los usuarios solo tienen que descargar e instalar la imagen de este aplicativo en la tarjeta SD de la Raspberry Pi. Luego de conectar y encender este dispositivo, aparece una red inalámbrica con el identificador *LIBEROUTER*, permitiendo que los dispositivos móviles se conecten a este nuevo punto de acceso inalámbrico.

Más información respecto al proceso de instalación y configuración de *Libe-router* se puede encontrar en este sitio web <http://www.ict-scampi.eu/results/scampi-liberouter/>.

2. Un dispositivo móvil compuesto de un Smartphone Samsung Galaxy SIII NEO, corriendo el sistema operativo Android 4.3. Las aplicaciones que están instaladas en este móvil son las siguientes: *SCAMPI (LibeRouter)*.- como aplicación de encaminamiento, *Guerrilla-Pics*.- que es un programa para compartir fotos, y la aplicación *Guerrilla Tags* que sirve para enviar y recibir mensajes de texto.



Figura 3.2: Interface de operación de la aplicación para capturar datos.

3. Una aplicación de registro de valores eléctricos de la batería y de transmisión de datos, que está instalada y funcionando en el dispositivo móvil, a la que denominamos “*Battery*”, ver figura 2. Este sencillo programa está diseñado para grabar los datos concernientes al gasto energético con una frecuencia de 0.1 segundos, su funcionamiento es muy intuitivo.

La aplicación de registro de valores, está diseñada para interactuar de manera rápida y directa con las aplicaciones de LibeRouter, permitiendo ejecutar estas aplicaciones de manera fácil a través de los botones, que están disponibles en la interface de operación.

A continuación describiremos el funcionamiento general de la aplicación de captura de datos eléctricos:

- El registro de datos empieza en el momento que se ejecuta la aplicación. Entonces se despliegan por pantalla los valores actuales de la batería como el voltaje, la corriente continua, la cantidad de datos que se transmiten y reciben en bytes, el tiempo que dura cada registro de datos, así como el tiempo total está funcionando la aplicación. La aplicación puede permanecer registrando datos el tiempo que se estime conveniente.
- El botón *LibeRouter* sirve para ejecutar la aplicación con su mismo nombre. Entonces, la aplicación empieza a recolectar los valores eléctricos cuando se corre esta aplicación adicional.
- Los botones *GPictures* y *GTags* sirven para ejecutar las aplicaciones para enviar imágenes y mensajes de texto respectivamente. Cada activación de estas aplicaciones supondrá diferentes valores de consumo de la batería.
- El botón *Borrar* permite eliminar el archivo de registro de datos e información temporal generada al ejecutar las aplicaciones de LibeRouter.
- El control *Parar* interrumpe la recolección de datos.
- Finalmente el botón *Salir*, permite cerrar la aplicación de captura de datos.

Los valores capturados son almacenados en un archivo de texto plano llamado *datos.txt*. La tabla 3.1, muestra la estructura de estos registros con valores

numéricos de ejemplo. Cabe recalcar que el procesamiento de los datos, cálculos y conversiones fueron realizados externamente.

Tabla 3.1: Estructura de datos utilizada para la captura de valores.

No.	Tiempo Cap.	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Bytes Tx	Bytes Rx
1	19:14:29	4.25	258.74	38	48
2	19:14:30	4.15	298.74	150	345
3	19:14:30	4.26	198.44	173	11
...

3.2. Metodología de medición.

En este apartado explicaremos como se procedió a la medición de los valores, que sirvieron para calcular el consumo de energía. Como se explicó anteriormente, cada fase de operación y activación de aplicaciones implica una variación en el consumo de recursos eléctricos de la batería. De acuerdo a esto, se procedió a medir por fases, las mismas que están determinadas por periodos fijos en el registro de los datos.

La aplicación adquiere los datos directamente del archivo virtual “/sys/class/power_supply/battery”. En este directorio podemos encontrar archivos de texto que se actualizan constantemente con los valores del voltaje, corriente y estado de la batería, entre otros. El flujo de datos utilizados para nuestro análisis está representado en la figura 3.3.

Las mediciones se efectuaron en tres fases secuenciales de operación de la aplicación LibeRouter en el dispositivo móvil: a) *Base*, b) *Running* y c) *Linked*. Los datos fueron capturados durante una 1 hora en cada fase, con una frecuencia de muestreo de 0.1 segundos, generándose con este procedimiento 36,000 registros en cada fase. Con el objetivo de medir el consumo de energía de la aplicación cliente Liberouter, solo activamos la interface WiFi, mientras que el GPS y el resto de interfaces celulares fueron desactivadas.

A continuación se describen las fases analizadas:

1. En la fase denominada como **Base**, consideramos la funcionalidad normal del dispositivo móvil (en este caso del teléfono), asegurándonos de que ninguna aplicación esté proveyendo servicios de redes oportunísticas. Por lo tanto, el

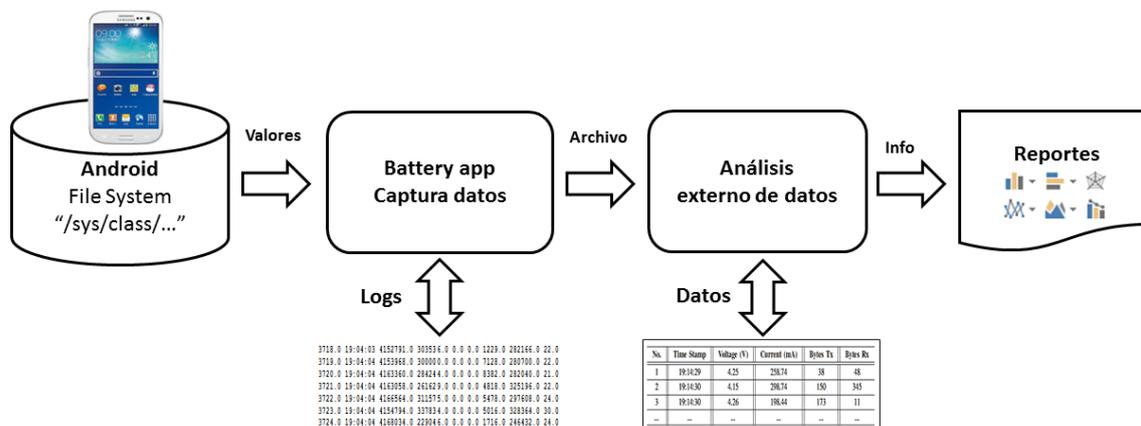


Figura 3.3: Flujo de datos capturados.

dispositivo móvil tiene instalado y corriendo solamente los programas básicos para su funcionamiento (LibeRouter no está en ejecución).

Para obtener los valores de la batería en esta fase, simplemente ejecutamos la aplicación de registro, y la dejamos que almacene datos por el lapso de 1 hora. Esta muestra de 36,000 registros nos sirve para conocer el consumo energético del dispositivo móvil en esta primera fase.

2. La fase denominada como **Running**, es cuando se activa la aplicación LibeRouter, y esta pasa a ejecutarse en un segundo plano. En esta fase, todavía no se ha establecido conexión con alguna red inalámbrica oportunística. Esto se hace a través del botón *LibeRouter* de la aplicación logger.

De igual manera dejamos que la aplicación capture los valores relacionados con la batería y transmisión de datos por el lapso de 1 hora, obteniendo de esta manera una muestra de 36,000 registros para realizar cálculos estadísticos posteriormente.

3. La fase denominada como **Linked**, ocurre cuando el dispositivo móvil entra en contacto con una zona de anclaje (*anchor zone*) conectado a un punto de acceso

Liberouter, y permanece en esta. Entonces sus protocolos de comunicación de datos empiezan a intercambiar información de control cada 10 segundos.

Para obtener una muestra considerable de datos, de igual manera que las fases anteriores, nuestra aplicación captura datos por un periodo de 1 *hora*, obteniendo de igual manera 36,000 registros, para ser analizados mas adelante.

Esta metodología de medición, requirió de un proceso de registro de datos mínimo de 3 *horas* de duración, hubiese podido ser de menos tiempo, pero como se requiere obtener una mayor precisión, se optó por este periodo de 1 *hora* de captura en cada fase.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN

En este apartado, realizaremos una evaluación basada en los resultados anteriores con el objetivo de calcular el consumo de energía de las diferentes fases de la comunicación oportunística, y analizar la influencia de estas en el rendimiento de la batería de los dispositivos móviles.

4.1. Consumo energético durante la transmisión de datos.

Una vez que se capturaron los valores energéticos, se extrajo el archivo de texto con estos datos (voltaje, corriente, etc.), para ser organizados y procesados externamente. Esta información es representada gráficamente en función del tiempo, como se muestra en la figuras 4.1, 4.2, y 4.3, donde se puede comparar visualmente las distintas fases: *Base*, *Running* y *Linked*.

En primera instancia, se puede apreciar una diferencia en la densidad del consumo de corriente eléctrica de acuerdo a cada fase de operación de la aplicación oportunística en el dispositivo móvil. El flujo de *corriente continua* es mayor en la fase *Running* que en la fase *Base*, de igual manera el flujo de *corriente continua*, es mayor de la fase *Linked* que la fase *Running*.

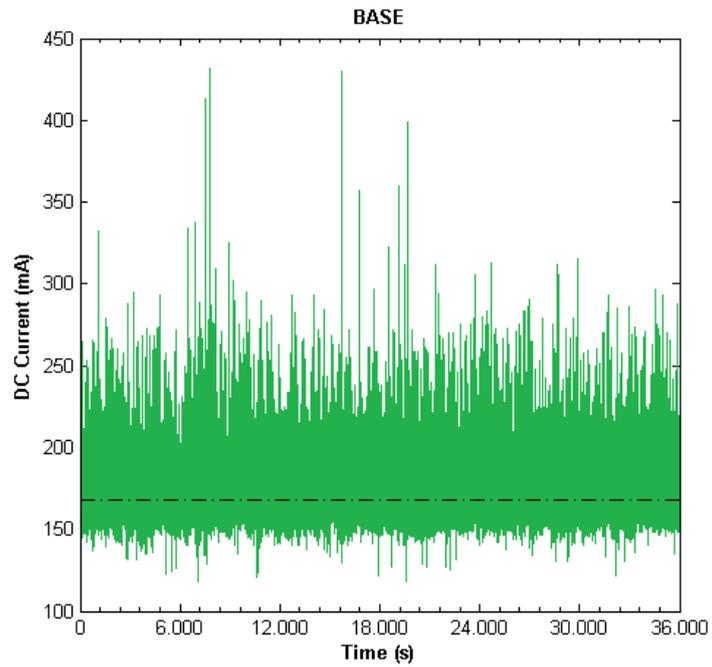


Figura 4.1: Consumo de corriente continua en la fase *Base*.

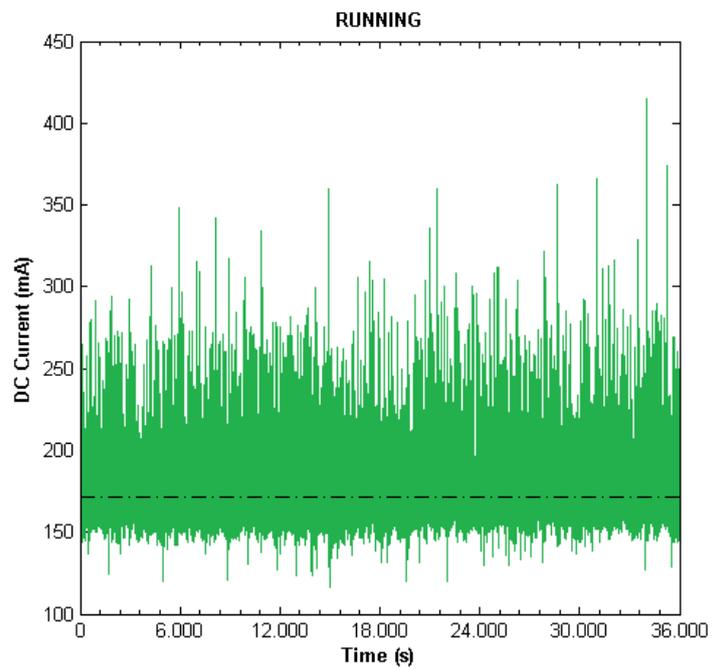


Figura 4.2: Consumo de corriente continua en la fase *Running*.

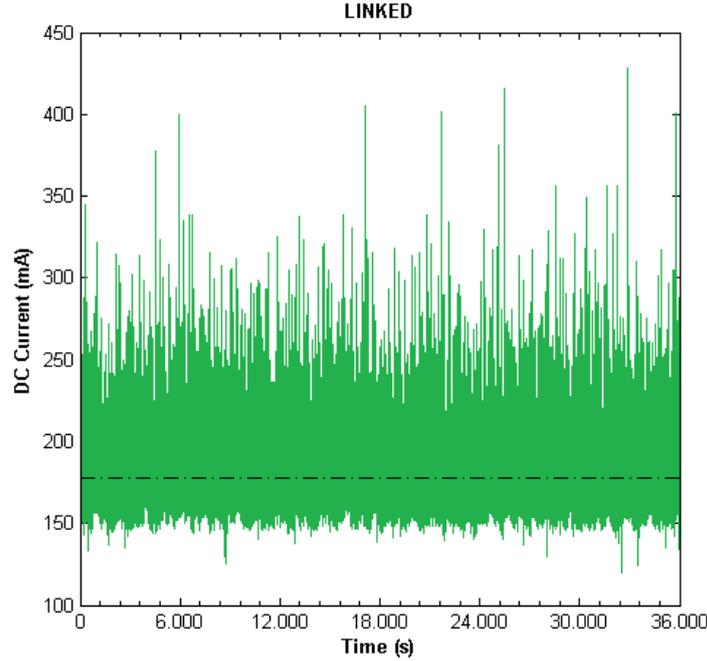


Figura 4.3: Consumo de corriente continua en la fase *Linked*.

Esta diferencia es consecuencia de que estas fases demandan una cantidad diferente de recursos eléctricos de la batería, por la utilización de las interfaces hardware en la transmisión de datos.

En la tabla 4.1 se muestran los valores promedio de la *corriente continua* en todas las fases de medición. Estos valores se usan para obtener el gasto de *corriente continua* de la aplicación LibeRouter definida como $C_{LibeRouter}$, a través de la diferencia entre los valores promedio de las fases *Running* y *Base*. Debemos indicar que este tipo de dispositivos móviles trabajan internamente con sistemas de *corriente continua (DC)*.

Con el mismo procedimiento, estimamos el consumo de corriente eléctrica, cuando el dispositivo móvil permanece en una *zona de anclaje* representada como C_{Linked} .

Tabla 4.1: Consumo de energía.

No.	Fases	Corriente (mA)	Pot (mW)
1	S_{Base}	168.02	638.48
2	$S_{Running}$	171.18	650.47
3	S_{Linked}	177.34	673.88

$$\begin{aligned}
C_{Liberouter} &= C_{SRunning} - C_{SBase} & (4.1) \\
&= 171,18mA - 168,02mA \\
&= 3,16mA.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{Linked} &= C_{SLinked} - C_{SRunning} & (4.2) \\
&= 177,34mA - 171,18mA \\
&= 6,16mA
\end{aligned}$$

De acuerdo a estos resultados, podemos resumir esta sección con los siguientes resultados:

- El consumo de corriente continua de la aplicación LibeRouter sin establecer ningún tipo de contacto con otros dispositivos de red es de $3.16mA$, (ver ecuación 4.1).
- Cuando un dispositivo móvil está ejecutando la aplicación LibeRouter, y éste entra a la *zona de anclaje*, el consumo de *corriente continua* se incrementa en $6.16mA$, resultado obtenido a través de la ecuación 4.2. Este aumento se debe al intercambio de información que existe entre los protocolos de comunicación, en este caso el TCP (Transmission Control Protocol). Entonces, cuando un dispositivo móvil está ejecutando LibeRouter dentro de una *zona de anclaje* el consumo total es de $9.32mA$.

Con la finalidad de calcular la *potencia* (eléctrica), multiplicamos el campo que contiene el valor de la *corriente continua* de cada registro de los datos capturados, por el valor nominal del *voltaje* de la batería del dispositivo móvil, que en este caso es de 3.8 *voltios*, y obtenemos su valor promedio.

En la figura 4.4 podemos ver la influencia del consumo de *corriente* de la aplicación. Los valores numéricos están mostrados en la tabla 4.1.

De acuerdo a estos resultados, la diferencia entre los valores de la *potencia* son proporcionalmente similares a la *corriente continua* en cada fase. El gasto energético de la aplicación cliente Liberouter es $P_{Running} = 12mW$, y cuando el dispositivo

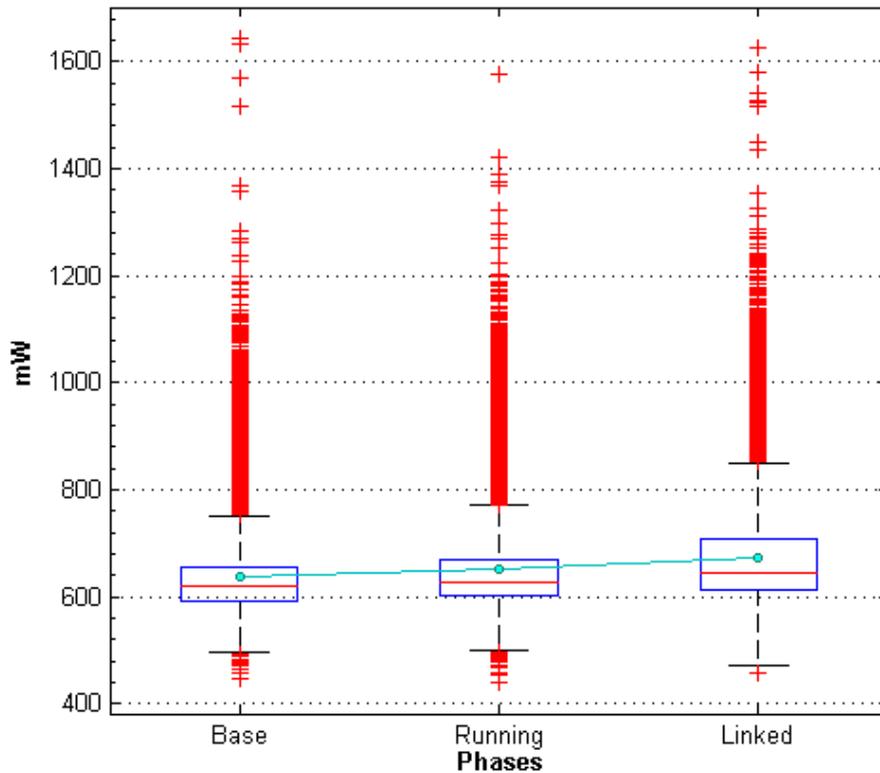


Figura 4.4: Gasto energético en cada fase.

móvil ingresa en la zona de anclaje, este consumo crece a $P_{Linked} = 23,41mW$. Podemos notar que el incremento es aproximadamente del 200%, ya que el proceso de escucha de las aplicaciones requiere más recursos eléctricos. Este factor es importante tenerlo en cuenta durante el diseño de aplicaciones y servicios para teléfonos móviles.

Además, mientras un dispositivo móvil está en la zona de anclaje conectado a un punto de acceso Liberouter (*Linked*), este recibe un promedio de 396 *bytes* y envía 290 *bytes* en cada *segundo* (estos datos solamente pertenecen a la información de control de los protocolos de comunicación). El volumen de esta información depende de la frecuencia con que las balizas son emitidas.

Después que hemos calculado la *potencia* de la aplicación LibeRouter en un dispositivo móvil, realizamos el mismo proceso de evaluación para conocer el gasto energético cuando la información es transmitida. Para ello ejecutamos la aplicación

Guerrilla-Pics (Liberouter app), y procedemos a enviar un archivo de imagen con un tamaño de *96kBytes*, obteniendo los siguientes valores:

- El consumo de *corriente continua* es $C_{file} = 40.25mA$
- El consumo de *energía* es $152.95mW$.
- El *tiempo* promedio para enviar *96kBytes* es $58ms$.

De acuerdo a estos valores, la energía empleada para enviar *96kBytes* es $9mJulios$.

Una vez que ya hemos cumplido parte de nuestro objetivo acerca de la medición, y antes de seguir con el análisis, vamos a utilizar la herramienta *Power Tutor*, para realizar mediciones similares. Nuestro interés no es comparar la efectividad de las aplicaciones de medición. La finalidad de esta comparación es determinar y en cierta manera verificar la validez del procedimiento que utilizamos para medir el gasto energético de la aplicación de redes oportunísticas LibeRouter.

En la tabla 4.2 se muestran los valores de las mediciones. Como se puede comprobar, no existe una diferencia significativa entre las dos aplicaciones. Por lo que podemos afirmar que nuestro método si es válido para realizar este tipo de análisis referente al gasto energético de aplicaciones de redes oportunísticas.

Tabla 4.2: Comparación de los valores consumo de energía.

No.	Consumo Energético	Por Fases (mW)	Power Tutor (mW)
1	Aplicación cliente Liberouter	12.05	10.19
2	Liberouter en zona de anclaje	23.41	10.98
3	Transmisión de 96 kBytes	152.95	135.01

4.2. Impacto en el rendimiento de la batería.

Finalmente, procedemos a realizar una aproximación del impacto del consumo de energía en función del tiempo. Entonces, teniendo en cuenta el consumo en cada fase y el número de archivos transmitidos, el impacto en la batería es calculado usando la siguiente expresión:

$$t_i = \frac{Q}{C_{App} + C_{Linked} \cdot t_a + k \cdot C_{file} \cdot t_f} \quad (4.3)$$

Donde (Q) es la capacidad de la batería del dispositivo móvil (en este caso específico es de $2100mAh$), ($C_{App} = C_{SBase} + C_{Liberouter}$); (C_{Linked}) es el consumo de corriente en la fase *Linked*, (t_a) es el tiempo que permanece el dispositivo móvil en la *zona de anclaje*, (k) es el número de archivos enviados, y (t_f) es el tiempo requerido para enviar uno de estos archivos.

Para explicar el impacto del consumo de energía en las diferentes fases de funcionamiento de una aplicación de redes oportunísticas, analizamos dos escenarios.

En el *primer escenario*, el tiempo es calculado con un valor fijo $t_a = 1$ hora y variando el valor de (k) desde 5,000 hasta 50,000 archivos. Estas tasas de transmisión pueden pertenecer, por ejemplo, a una actualización periódica de información, o una transmisión de vídeo. La figura 4.5 muestra los resultados de este escenario, siendo la línea azul continua la relación entre el consumo C_{App} y la capacidad de la batería. Este es el valor de referencia para comparar el impacto de nuestra aplicación objetivo en función del tiempo. La línea azul discontinua representa el consumo de energía cuando el dispositivo móvil entra en una *zona de anclaje* sin transmitir datos, y las líneas rojas representan el caso cuando los usuarios móviles están transmitiendo datos. Como podemos ver, el impacto de la transmisión es más bajo que cuando el dispositivo móvil está enlazado a una zona de anclaje. En este caso la duración de la batería no baja de 10 horas.

En el *segundo escenario*, el tiempo estimado de duración de la batería es calculado cambiando el tiempo que el dispositivo móvil permanece en la *zona de anclaje*, en este caso desde 1 hora hasta 8 horas, y el valor de (k) está fijado en 5,000 archivos. La figura 4.6 muestra el resultado de esta aproximación. La línea azul continua tiene el mismo significado que en la figura anterior, pero las líneas rojas representan el tiempo

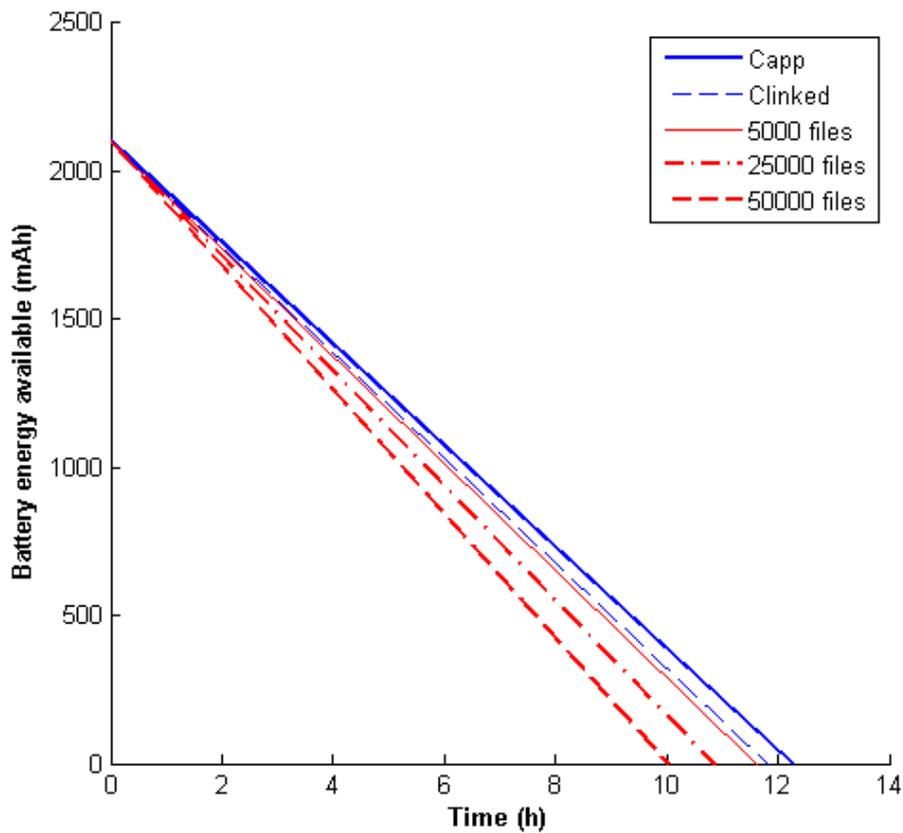


Figura 4.5: Impacto de la transmisión de datos.

que el dispositivo móvil permanece dentro de la *zona de anclaje*. El efecto de la transmisión de información, no es significativo con respecto al contacto y permanencia de un usuario móvil dentro de la *anchor zone*. En este caso, el tiempo de duración de la batería decrece aproximadamente a 9 horas.

Resumiendo, podemos notar que el impacto sobre la batería de una aplicación de redes oportunísticas, cuando el dispositivo móvil envía información, es más bajo que cuando este dispositivo permanece en una *zona de anclaje*. Finalmente, la transmisión de datos consume menos energía, debido a que este proceso solo ocurre cuando existe la necesidad de compartir información y la oportunidad de establecer contacto entre dispositivos inalámbricos.

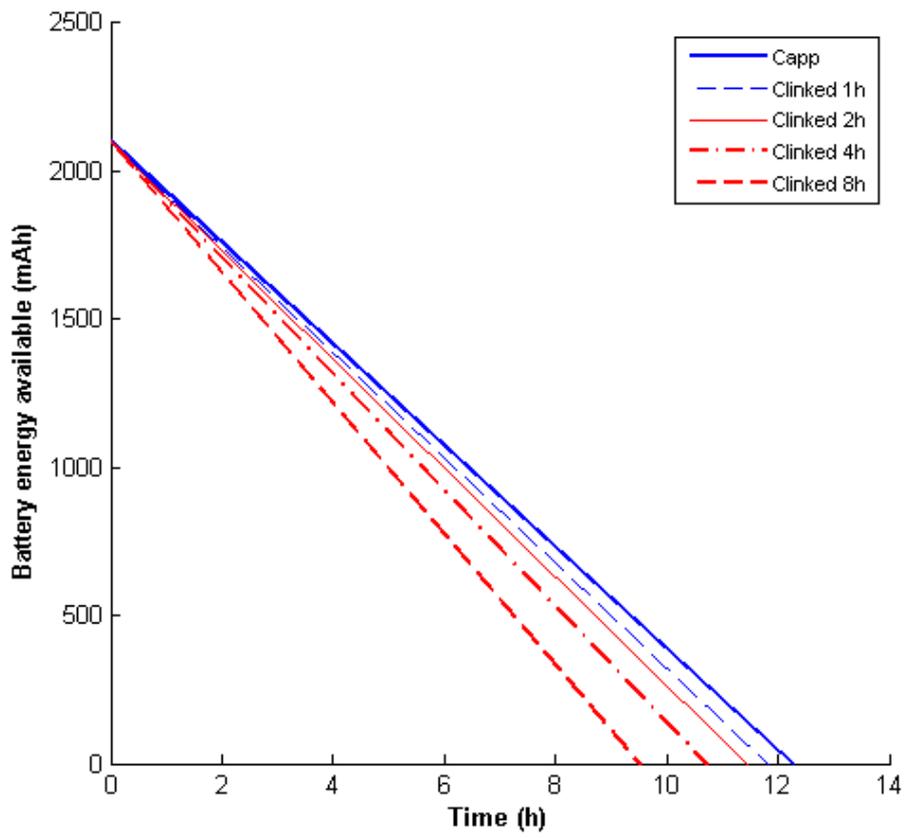


Figura 4.6: Impacto del tiempo de permanencia en la zona de anclaje.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones

El principal objetivo de este trabajo de investigación ha sido efectuar mediciones del gasto energético, para así estudiar el impacto de una aplicación que ofrece comunicación en redes oportunísticas. En base a los resultados, nuestra evaluación demuestra que el consumo energético en una red oportunística es moderadamente bajo, haciendo que sea factible y recomendable el despliegue de aplicaciones para este entorno de comunicaciones.

También, concluimos que, en las redes oportunísticas, el impacto en las baterías de un dispositivo móvil es mayor cuando una aplicación está ejecutándose de manera permanente. Una manera de reducir el consumo de los recursos de la batería, es que la aplicación solo se ejecute cuando el dispositivo móvil entre en una determinada localización geográfica, en este caso una *zona de anclaje*.

Finalmente, podemos afirmar que cuando un dispositivo móvil permanece en la *zona de anclaje*, el consumo energético de éste es mayor que cuando envía (usuario

comparte) información. Esto es consecuencia del intercambio periódico de información de control de cada protocolo, procedimiento requerido para recibir y retransmitir los paquetes dentro de una *zona de anclaje*. Bajo estas circunstancias, la correcta y adecuada configuración de este proceso es crucial para minimizar el consumo de energía.

5.2. Trabajo futuro

Nuestro interés, a mediano y largo plazo, al realizar este tipo de análisis es proponer mecanismos para incrementar la duración las baterías a través de la optimización de las aplicaciones, sin que éstas pierdan sus funcionalidades.

Trabajos futuros estarán orientados hacia los siguientes aspectos: a) explotación de la información recibida de los sensores, en el diseño e implementación de aplicaciones energéticamente eficientes, y b) fomentar la colaboración entre los dispositivos móviles mediante el uso de aplicaciones móviles diseñadas en base a las limitaciones de eficiencia energética.

PUBLICACIONES

Como producto de este trabajo de fin de máster se realizaron dos publicaciones, que a continuación se listan.

- Power Consumption Evaluation in Vehicular Opportunistic Networks, IEEE 12th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC): CCNC 2015 Workshops - VENITS, ISBN = 978-14-799-6390-4, Jorge Herrera-Tapia, Pietro Manzoni, Enrique Hernández-Orallo, Carlos Tavares Calafate, and Juan Carlos Cano, pp. 925-930, Las Vegas, Nevada, Estados Unidos de Norte América, 2015.
- Evaluación del tiempo de transmisión entre contactos en una red oportunística, XXV Jornadas de Paralelismo Valladolid, Septiembre 2014 (JP2014), ISBN = 978-84-697-0329-8, Jorge Herrera-Tapia, Pietro Manzoni, Enrique Hernández-Orallo, Carlos Tavares Calafate, and Juan Carlos Cano, pp. 441-446, Valladolid, España, 2014.

ANEXO

Funcionamiento y Código fuente

En esta sección se describe la aplicación de captura de datos de redes oportunísticas, desde la perspectiva de la implementación. La aplicación fue desarrollada en el lenguaje Java, utilizando Eclipse. En primer lugar se muestra un diagrama de flujo de procesos, luego se presenta la interfaz de operación, y finalmente se lista parte del código fuente utilizado en la obtención de los valores eléctricos de la batería y de la transmisión de datos.

El esquema de funcionamiento de la aplicación de registro de datos para calcular

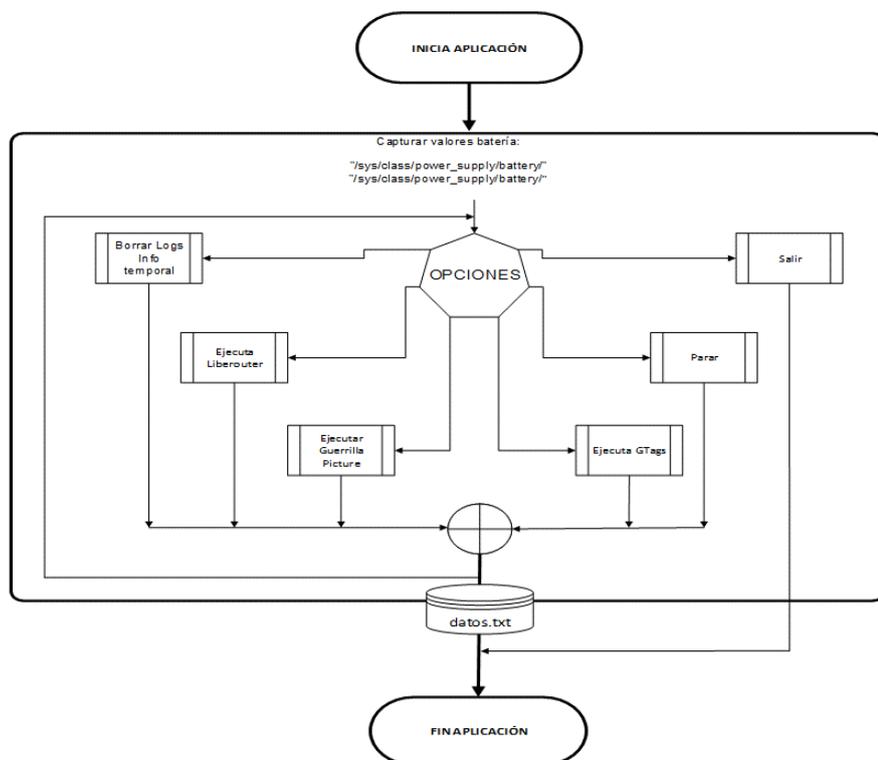


Figura 1: Flujograma de la aplicación de captura de datos.

el consumo energético se muestra en la figura 1. De acuerdo a este diagrama, podemos ver que, una vez iniciada la aplicación, también se inicia el proceso de captura de valores eléctricos.

Estos datos son extraídos de archivos que se actualizan periódicamente con los últimos valores de la batería, que se encuentran en el directorio del sistema de archivos de Android: `"/sys/class/power_supply/battery/"`. Al mismo instante, también se adquieren los valores concernientes a la transmisión de datos, que se encuentran en archivos del directorio `"/sys/class/net/wlan0/statistics/"`.

Como se indica en el diagrama, el proceso de captura de datos se mantiene mientras se ejecutan las diferentes opciones, como es la ejecución de la aplicación cliente de enrutamiento Liberouter, y las aplicaciones *Guerrilla Pics* para compartir fotos, y de *Guerrilla Tags* utilizada para enviar mensajes de texto.

Aparte de la funcionalidad para llamar a las aplicaciones de Liberouter, la aplicación también cuenta con un botón *Borrar* que sirve para eliminar los datos temporales y logs generados por la aplicación de redes oportunísticas. Y como se muestra en la figura 2, la aplicación también dispone de botones para suspender la captura de datos a través del botón *Parar*. Para cerrar la aplicación se utiliza el botón *Salir*.



Figura 2: Interface de operación de la aplicación para capturar datos.

Los datos han sido almacenados en el archivo *datos.txt*.

Una vez se terminó la captura de datos a través de nuestra sencilla aplicación, se extrae el archivo *datos.txt* del dispositivo móvil (teléfono), para proceder al análisis de la información recolectada.

A continuación, se muestra el código fuente de las principales funciones utilizadas para la captura de datos en el dispositivo móvil. Mediante comentarios se explica el código.

Función valorBatería

Esta función es utilizada para obtener valores de la batería, el parámetro *FILENAME1* sirve para seleccionar el valor de a capturar, pudiendo ser este de corriente eléctrica, carga, voltaje, etc. Los archivos con los últimos valores se encuentran en el directorio: *"/sys/class/power_supply/battery/"*.

```
public static double valorBateria(String FILENAME1){
    String aDataRow = "";
    String aBuffer = "";
    try {
        File myFile = new File("/sys/class/power_supply/battery/"+FILENAME1);
        FileInputStream fIn = new FileInputStream(myFile);
        BufferedReader myReader = new BufferedReader(
            new InputStreamReader(fIn));
        while ((aDataRow = myReader.readLine()) != null) {
            aBuffer += aDataRow + "\n";
        }
        myReader.close();
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace();
    }
    try {
        double valBatt = Double.parseDouble(aBuffer);
        return valBatt;
    } catch (Exception e) {
        e.printStackTrace(); return 0;
    } // Fin función valorBateria
}
```

Función bytesTxRx

La siguiente función es similar a la anterior, y es utilizada para capturar los valores relacionados con la transmisión de datos, esta información es extraída de los archivos que se encuentran en el directorio citado en la función.

```
public static double bytesTxRx(String FILENAME2){

String aDataRow2 = "";
String aBuffer2 = "";
String aBuffer2 = "0";

try {
File myFile2 = new File("/sys/class/net/wlan0/statistics/"+FILENAME2);
FileInputStream fIn2 = new FileInputStream(myFile2);
BufferedReader myReader2 = new BufferedReader(
new InputStreamReader(fIn2));
while ((aDataRow2 = myReader2.readLine()) != null) {
aBuffer2 += aDataRow2 + "\n";
}

myReader2.close();
} catch (Exception e) {
e.printStackTrace();
}
try {
double bytesTR = Double.valueOf(aBuffer2);
return bytesTR;
} catch (Exception e) {
e.printStackTrace();
return 0;
}
} // fin de la funcion bytesTxRx
```

Función calcPot

Esta función la utilizamos para cambiar el tipo de datos y desplegar los valores en tiempo real, en la pantalla del dispositivo móvil.

```
private void calcPot(){
long startTime = SystemClock.elapsedRealtime();
voltaje = (valorBateria("voltage_now"));
bytesTx = bytesTxRx("tx_bytes"); //pasamos a bits
bytesRx = bytesTxRx("rx_bytes");
corriente = valorBateria("current_now");
carga = valorBateria("charge_now");
BpsTx = bytesTx - auxBTx;
auxBTx = bytesTx;
BpsRx = bytesRx - auxBRx;
auxBRx = bytesRx;
long endTime = SystemClock.elapsedRealtime();
difTime = endTime - startTime;
tvValores.setText(
"Voltaje V:      "+voltaje+"\n"+
"Corriente mA:  "+corriente+"\n"+
"Potencia mW:   "+potencia+"\n"+
"Carga:        "+carga+"\n"+
"Enviando bits/seg:  "+BpsTx+"\n"+
"Recibiendo bits/seg:  "+BpsRx+"\n"+
"Total Bytes Enviados: "+BpsTx+"\n"+
"Total Bytes Recibidos:  "+BpsRx+"\n"+
"Tiempo Inicio:      "+startTime+"\n"+
"Tiempo Fin:        "+endTime+"\n"+
"Tiempo Captura datos milisechs:      "+difTime+"\n"+
"Tiempo Corriendo App secs:      "+tiempoRun+"\n"+
"Time: "+strDate+"\n"
);
}
```

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Warthman, “Delay-and Disruption-Tolerant Networks (DTNs) A Tutorial, version 2.0,” *The InterPlaNetary (IPN) Internet Project. InterPlanetary Networking Special Interest Group (IPNSIG)*, 2012.
- [2] E. Hyttiä, “When Does Content Float? Characterizing Availability of Anchored Information in Opportunistic Content Sharing,” *IEEE INFOCOM 2011*, pp. 3137–3145, 2011.
- [3] S. Ferretti, “Shaping opportunistic networks,” *Computer Communications*, vol. 36, pp. 481–503, 2013.
- [4] C.-M. Huang, “A Survey of Opportunistic Networks,” *22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 1672–1677, 2008.
- [5] <http://www.ict-scampi.eu/>, “Scampi project.” Visitada: 2015-06-15.
- [6] J. Niu, J. Guo, Q. Cai, N. Sadeh, and S. Guo, “Predict and Spread : an Efficient Routing Algorithm for Opportunistic Networking,” *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2011 IEEE*, pp. 498–503, 2011.
- [7] G. S. Thakur, U. Kumar, A. Helmy, and W.-J. Hsu, “On the efficacy of mobility modeling for DTN evaluation: Analysis of encounter statistics and spatio-temporal preferences,” *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International*, pp. 510–515, 2011.
- [8] A. Vahdat and D. Becker, “Epidemic routing for partially connected ad hoc networks,” *Technical report number CS-200006, Duke University*, pp. 1–14, 2000.

- [9] B. Poonguzharselvi and V. Vetriselvi, "Survey on routing algorithms in opportunistic networks," *2013 IEEE International Conference on Computer Communication and Informatics*, pp. 1–5, 2013.
- [10] L. Pelusi, A. Passarella, and M. Conti, "Opportunistic Networking: Data Forwarding in Disconnected Mobile Ad Hoc Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 134–141, 2006.
- [11] L. Pelusi, A. Passarella, and M. Conti, "Energy-Efficient Computing for Wildlife Tracking: Design Trade-Offs and Early Experiences with ZebraNet," *ACM SIGPLAN Notices*, pp. 96–107, 2002.
- [12] S. Tornell, C. Calafate, J.-C. Cano, and P. Manzoni, "DTN Protocols for Vehicular Networks: an Application Oriented Overview," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp. 1–1, 2015.
- [13] S. M. Tornell, C. T. Calafate, J.-C. Cano, and P. Manzoni, "Assessing the effectiveness of DTN techniques under realistic urban environments," *38th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, pp. 573–580, 2013.
- [14] E. M. Goyal and E. M. Chaudhary, "Ensuring Privacy in opportunistic Network," *IOSR Journal of Computer Engineering*, vol. 13, pp. 74–82, 2013.
- [15] L. Lilien, Z. H. Kamal, V. Bhuse, and Gupta, "Opportunistic Networks: The Concept and Research Challenges," *Int. Workshop on Research Challenges in Security and Privacy for Mobile and Wireless Networks*, 2006.
- [16] J. Whitbeck, V. Conan, and M. D. de Amorim, "Performance of Opportunistic Epidemic Routing on Edge-Markovian Dynamic Graphs," *IEEE Transactions on Communications TCOM-09-0163*, 2009.
- [17] A. Verma, "Integrated Routing Protocol for Opportunistic Networks," (*IJAC-SA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 2, pp. 85–92, 2011.
- [18] Z. C. Chen Wei, Letaief Khaled, "Opportunistic Network Coding for Wireless Networks," *ICC 2007 proceedings*, pp. 4634–4639, 2007.

- [19] E. Hernández-Orallo, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, “A representative and accurate characterization of inter-contact times in mobile opportunistic networks,” *Proceedings of the 16th ACM international conference on Modeling, analysis & simulation of wireless and mobile systems - MSWiM '13*, pp. 309–316, 2013.
- [20] Y. Li, X. You, S. Lei, Q. Liu, K. Sohraby, and C. Wang, “Analysis and improvement of TCP performance in opportunistic networks,” *Wireless Networks*, vol. 18, pp. 799–810, 2012.
- [21] R. Ramanathan, R. Hansen, P. Basu, R. Rosales-Hain, and R. Krishnan, “Prioritized epidemic routing for opportunistic networks,” *Proceedings of the 1st international MobiSys workshop on Mobile opportunistic networking - MobiOpp '07*, pp. 62–66, 2007.
- [22] L. Dong, “Opportunistic media access control and routing for delay-tolerant mobile ad hoc networks,” *Wireless Networks*, vol. 18, pp. 949–965, 2012.
- [23] J. M. Cabero, V. Molina, I. n. Urteaga, F. Liberal, and J. L. Martín, “Acquisition of human traces with Bluetooth technology: Challenges and proposals,” *Ad Hoc Networks*, pp. 2–16, 2014.
- [24] L. Pajevic, G. Karlsson, and O. Helgason, “Epidemic Content Distribution : Empirical and Analytic Performance,” *MSWiM13*, pp. 335–339, 2013.
- [25] A. Chaintreau, P. Hui, J. Crowcroft, C. Diot, R. Gass, and J. Scott, “Impact of Human Mobility on Opportunistic Forwarding Algorithms,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, pp. 606–620, 2007.
- [26] S. Gaito, E. Pagani, and G. P. Rossi, “Opportunistic Forwarding in Workplaces,” *WOSN '09: Proceedings of the Second ACM Workshop on Online Social Networks*, pp. 55–60, 2009.
- [27] A. Förster, K. Garg, H. A. Nguyen, and S. Giordano, “On Context Awareness and Social Distance in Human Mobility Traces Categories and Subject Descriptors,” *MobiOpp12*, pp. 5–12, 2012.
- [28] J. Kangasharju, “Floating Content: Information Availability in Urban Environments University of Helsinki,” pp. 804–808, 2010.

- [29] J. Ott, E. Hyytiä, P. Lassila, J. Kangasharju, and S. Santra, “Floating content for probabilistic information sharing,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 7, pp. 671–689, 2011.
- [30] Y. Lee Kyunghan, LeeJoohyun, “Mobile Data Offloading : How Much Can WiFi Deliver? ,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 21, pp. 536–550, 2013.
- [31] M. Z. Abhinav Pathak, Y Charlie Hu, “Fine Grained Energy Accounting on Smartphones with Eprof,” *Proceedings of the ACM SIGOPS EuroSys 2012 Conference (2012)*, pp. 29–42, 2012.
- [32] T. I. Qualcomm, “When Mobile Apps use too much Power. A Developer Guide for Android App Performances,” *Technologies Incorporated, Qualcomm*, 2013.
- [33] M. Avvenuti, P. Corsini, P. Masci, and A. Vecchio, “Opportunistic computing for wireless sensor networks,” *Mobile Adhoc and Sensor Systems. MASS 2007. IEEE International Conference on*, pp. 1–6, 2007.
- [34] X. Mao, S. Tang, X. Xu, X.-Y. Li, and H. Ma, “Energy Efficient Opportunistic Routing in Wireless Sensor Networks,” *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, pp. 1934–1942, 2011.
- [35] V. Kanakaris, D. Ndzi, and D. Azzi, “Ad-hoc Networks Energy Consumption: A review of the Ad-Hoc Routing Protocols,” vol. 3, pp. 162–167, 2010.
- [36] L. Zhang, R. P. Dick, Z. M. Mao, Z. Wang, and A. Arbor, “Accurate Online Power Estimation and Automatic Battery Behavior Based Power Model Generation for Smartphones,” *CODES ISSS 2010*, 2010.
- [37] http://www.ict-scampi.eu/results/scampi_liberrouter/, “Liberrouter.” Visitada: 2015-06-15.
- [38] J. Ott, E. Hyytia, P. Lassila, T. Vaegs, and J. Kangasharju, “Floating content: Information sharing in urban areas,” *2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pp. 136–146, 2011.
- [39] http://www.raspberrypi.org/product/model_b/, “Model B — Raspberry Pi.” Visitada: 2015-06-12.