

# **UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES**

**PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**



## **PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE ELECCIÓN DE REDES BASADA EN CONTEXTO PARA MEJORAR EL AHORRO DE ENERGÍA EN DISPOSITIVOS MÓVILES CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

**Tesis presentada por el Bachiller:**

**Brenda Tamayo Oporto**

**Para optar por el Título Profesional:**

**INGENIERO DE SISTEMAS**

**Arequipa – Perú**

**2013**

## Presentación

Sra. Directora del Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas

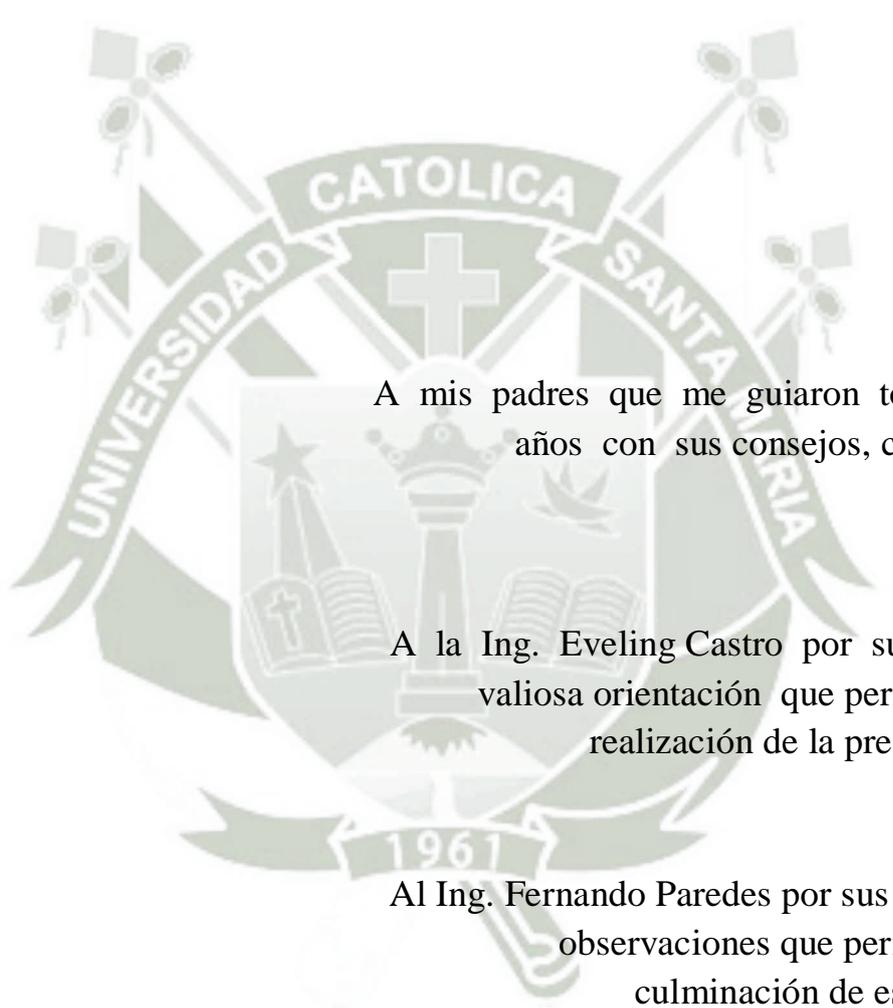
Sres. Miembros del Jurado Examinador de Tesis

De conformidad con las disposiciones del reglamento de Grados y Títulos del Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas, remitimos a vuestra consideración el estudio de investigación titulado **“PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE ELECCIÓN DE REDES BASADA EN CONTEXTO PARA MEJORAR EL AHORRO DE ENERGÍA EN DISPOSITIVOS MÓVILES CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”**, el mismo que al ser aprobado nos permitirá optar el título profesional de Ingeniería de Sistemas.

Arequipa, Diciembre del 2013

Brenda Tamayo Oporto

# AGRADECIMIENTOS



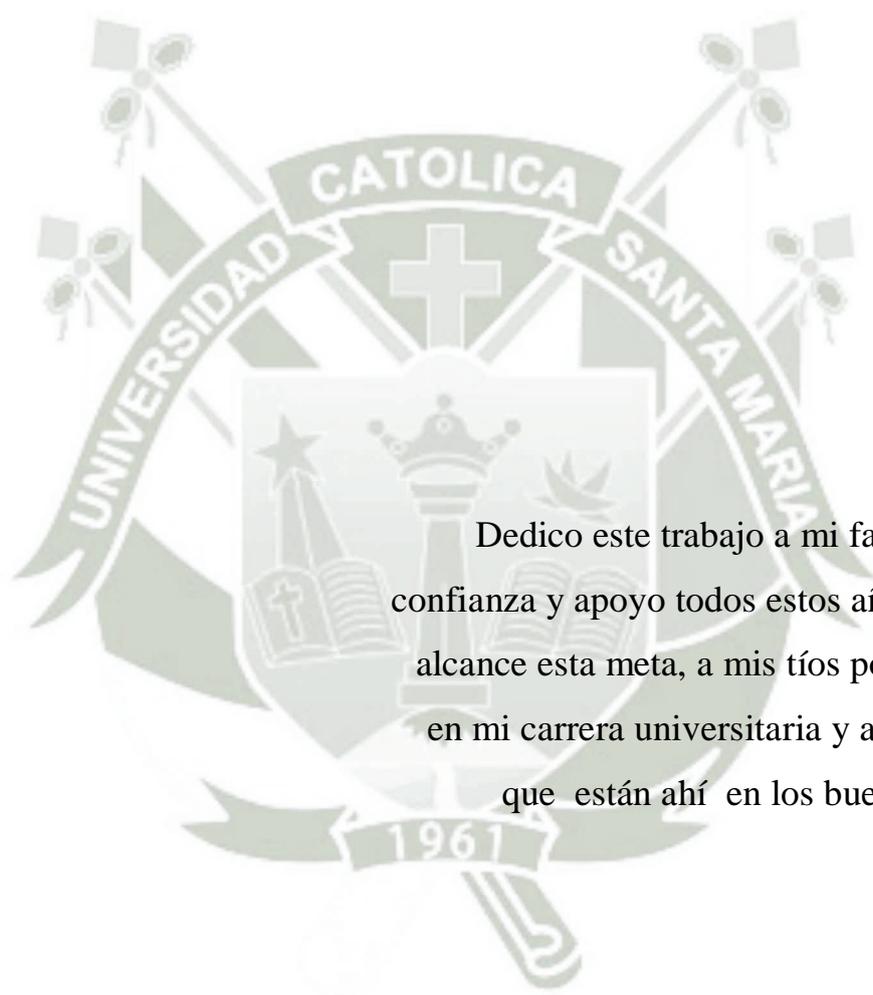
A mis padres que me guiaron todos estos años con sus consejos, cariño y los cafecitos.

A la Ing. Eveling Castro por su tiempo y valiosa orientación que permitieron la realización de la presente tesis.

Al Ing. Fernando Paredes por sus constantes observaciones que permitieron la culminación de este trabajo.

A todos los profesores que me enseñaron y guiaron a lo largo de estos años para ser una buena profesional.

# DEDICATORIA



Dedico este trabajo a mi familia por su confianza y apoyo todos estos años para que alcance esta meta, a mis tíos por ayudarme en mi carrera universitaria y a mis amigos que están ahí en los buenos y malos tiempos.

Gracias a todos ellos.

# Tabla de Contenido

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO I .....	5
PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	5
1. El problema de Investigación .....	5
1.1 Título del proyecto .....	5
1.2 Descripción del problema.....	5
1.2.1 Definición del problema .....	5
1.2.2 Área y línea de investigación .....	5
1.2.3 Tipos y nivel de investigación.....	6
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 General.....	6
1.3.2 Específicos .....	6
1.4 Hipótesis.....	7
1.5 Variables.....	7
1.5.1 Independientes.....	7
1.5.2 Dependientes .....	7
1.6 Justificación .....	7
1.7 Alcances y Limitaciones .....	8
1.7.1 Alcances .....	8
1.7.2 Limitaciones .....	9
CAPÍTULO II .....	10
MARCO TEÓRICO .....	10
2.1 Estado del Arte .....	10
2.2 Sistema Operativo Android .....	14
2.2.1 Fundamentos de cada Aplicación.....	15
2.2.2 Arquitectura Android.....	15

2.2.3 Android Power Management .....	17
2.3 Redes Móviles .....	19
2.3.1 Tecnologías Inalámbricas .....	20
a) 3G.....	20
b) LTE.....	22
c) WIMAX .....	22
d) WiFi.....	23
2.3.2 Mercado de Telefonía Móvil en el Perú .....	23
Tecnología Móvil.....	23
Banda Ancha Móvil .....	24
Redes Móviles.....	24
Cobertura Móvil.....	25
2.4 Tecnología Batería de Ión de Litio .....	26
2.5 Computación Consciente del Contexto .....	27
2.5.1 Definición de Contexto .....	28
2.5.2 Aplicaciones conscientes del contexto.....	28
2.5.3 Arquitectura .....	29
2.6 Cadenas de Markov.....	31
2.6.1 Cadenas de Markov finitas. ....	32
2.6.2 Matriz de Transición .....	33
2.7 Telemedicina .....	33
2.7.1 Aplicaciones de la Telemedicina .....	34
2.7.2 Funcionamiento de un sistema de telemedicina .....	35
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>36</b>
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>36</b>
3.1 Visión General de la Solución .....	36
3.2 Análisis de Consumo WiFi y 3G .....	38
3.3 Diseño e Implementación de la Solución .....	42
3.3.1 Módulo de Elección de Redes .....	42
a) Sub Módulo de Obtención de Datos de Contexto.....	43
- Sub Módulo de Obtención de Datos Primarios de Contexto.....	43
- Sub Módulo de Pre procesamiento de Datos de Contexto .....	45

b) Sub Módulo de Elección de Interfaz de Redes .....	46
c) Sub Módulo Activación Interfaz de Red .....	48
3.3.2 Módulo de Predicción .....	48
a) Sub Módulo de Aprendizaje .....	49
b) Sub Módulo de Predicción .....	51
CAPÍTULO IV .....	53
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	53
4.1 Herramienta Medición: PowerTutor .....	53
4.2 Caso de Estudio .....	55
4.3 Pruebas Iniciales .....	56
4.3 Validación de la Propuesta: Usuarios Expertos.....	59
4.3.1 Perfil de Competencias del Experto .....	59
4.3.2 Validación del Perfil del Experto .....	60
4.3.3 Dispositivos utilizados.....	61
4.3.4 Análisis de los Resultados de las Pruebas con Usuarios Expertos.....	62
4.3.4.1 Prueba de Hipótesis Estadística .....	66
4.3.5 Análisis Resultados de la Evaluación hecha por Expertos .....	67
CONCLUSIONES .....	70
RECOMENDACIONES .....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXO A .....	75
ANEXO B.....	77

# Índice de Figuras

Figura 1. Arquitectura Android SO.....	15
Figura 2. Arquitectura Android Power Management.....	18
Figura 3. Configuración de los WakeLocks Android .....	19
Figura 4. Mercado de Telefonía Móvil Diciembre 2011.....	23
Figura 5. Mapa de Cobertura Móvil Arequipa.....	26
Figura 6. Arquitectura Sistema Consciente Contexto .....	29
Figura 7. Gráfica de la Solución General .....	36
Figura 8. Interacción de los submódulos [Módulo Elección de Redes] .....	43
Figura 9. Pseudocódigo algoritmo de evaluación. ....	48
Figura 10. Interacción de los submódulos [Módulo Predicción] .....	49
Figura 11. Modelo de Matriz de Transición .....	51
Figura 12. Pantalla de Visualización de Estimaciones de energía .....	54
Figura 13. Flujo de información simulado por la aplicación.....	55

# Índice de Tablas

Tabla 1. Cuadro de Índice CR para Arequipa.....	25
Tabla 2. Consumo de Energía en cada fase de conexión.....	39
Tabla 3. Funciones de Consumo de energía respecto a la cantidad de datos .....	40
Tabla 4. Funciones de Consumo de energía respecto al tiempo de transferencia.....	40
Tabla 5. Medición de energía en aplicaciones Android .....	41
Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Equipo de Pruebas .....	57
Tabla 7. Datos Profesionales y Laborales de los Expertos.....	60
Tabla 8. Autoevaluación de Competencias .....	61
Tabla 9. Listado de Dispositivos Utilizados .....	62
Tabla 10. Resultados Energía Consumida - Pruebas Realizadas con Usuarios.....	63
Tabla 11 Resultados % Batería Gastado - Pruebas Realizadas con Usuarios .....	64
Tabla 12. Resultados de Pruebas Realizadas con Usuarios.....	65
Tabla 13. Tabla valores Estadísticos .....	66
Tabla 14. Preguntas de la segunda parte de la encuesta realizada a Usuarios Expertos .	68
Tabla 15. Evaluación de los Expertos .....	68

## RESUMEN

Hoy en día, el principal problema que encontramos en la mayoría de smartphones es la poca duración de su batería al usar aplicaciones que hacen uso intensivo de los servicios de conectividad. Esto se convierte en un problema serio en aplicaciones específicas como las de telemedicina; donde los servicios como conexión a WiFi y 3G son los mayores consumidores de energía, pero son imprescindibles para las funciones básicas que requieren estas aplicaciones.

En el presente trabajo se presenta una propuesta de estrategia de elección de la interfaz de red con menor consumo energético para el envío de datos desde un dispositivo móvil Android. La solución muestra como la elección adecuada de la red, de acuerdo a las características del contexto de conectividad, pueden llevar a un ahorro de energía en la batería.

## ABSTRACT

Nowadays, the main problem we found in most smartphones is the poor battery life when using applications that make an intensive use of connectivity services. This becomes a serious problem in specific applications such as telemedicine; where services such as WiFi and 3G connection are the largest consumers of energy, but are essential for the basic features required by these applications.

In this research we present a proposal of a strategy for choosing the network with lower energy consumption for sending data from an Android mobile device. The solution indicates how the choice of an adequate network, according to the connectivity characteristics of the context, can lead to energy savings in battery.

# INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de dispositivos móviles que cuenten con un sistema operativo como plataforma para múltiples aplicaciones, se ha incrementado a pasos agigantados en los últimos años. De ellos, el más difundido ha sido desde hace un tiempo el sistema operativo Android; el cual lo podemos encontrar en múltiples dispositivos de diferentes proveedores de hardware y que también cuenta con múltiples aplicaciones del gusto de cada usuario.

A pesar de que estos dispositivos sean cada vez más útiles para la vida diaria de las personas, su tiempo de uso se va disminuyendo debido a que la actual tecnología de las baterías no va acorde con esta evolución de funcionalidades y servicios. Haciendo que el usuario tenga que cargar la batería de su dispositivo más frecuentemente que antes, muchas veces interrumpiendo sus actividades.

Dentro de este contexto, es que la problemática de ahorro de batería en dispositivos móviles Android se ha vuelto un campo de investigación donde variadas soluciones pasando desde hardware hasta software se han presentado. La presente investigación propone una solución de software a nivel de aplicación para el ahorro de batería centrándose en el uso óptimo de los mayores consumidores de energía como son las interfaces de red.

El presente documento explica el proceso de análisis, diseño e implementación de una propuesta de estrategia de selección de redes basada en contexto. El objetivo de esta propuesta es lograr un ahorro de energía en la batería de un dispositivo móvil con sistema operativo Android.

Para la explicación de trabajo, se ha dividido el documento en cuatro capítulos: 1 Planteamiento de la investigación, 2 Marco Teórico, 3 Diseño e Implementación de la propuesta y 4 Pruebas y Análisis de Resultados.

En el Capítulo 1 se plantea el problema de investigación, así mismo se justifica y se dan a conocer sus alcances y limitaciones. Además se presenta los antecedentes de investigación que dieron inicio a este proyecto de investigación.

En el Capítulo 2 se presentan una serie de conceptos y temas teóricos necesarios para el entendimiento del trabajo. De tal manera que se ve una breve explicación de los temas principales que recoge la investigación así como de las técnicas utilizadas en el desarrollo del mismo.

En el Capítulo 3 se muestra y describe el análisis, diseño e implementación de la solución propuesta para el ahorro de energía en servicios de conectividad.

Las pruebas y análisis de las mismas se muestran en el Capítulo 4 donde se verifica la solución propuesta. También se presenta una breve explicación de la herramienta de medición utilizada y el caso de estudio.

Finalmente están las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron a partir de la investigación realizada.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO TEÓRICO

### 1. El problema de Investigación

#### 1.1 Título del proyecto

“Propuesta de una estrategia de elección de redes basada en contexto para mejorar el ahorro de energía en dispositivos móviles con sistema operativo Android en la ciudad de Arequipa”

#### 1.2 Descripción del problema

##### 1.2.1 Definición del problema

Cada día los dispositivos móviles nos presentan más funcionalidades y servicios; sin embargo, la evolución en la capacidad de la batería no se da al mismo ritmo. Especialmente con los servicios relacionados a conectividad, que son los mayores consumidores de batería, y los más utilizados en las aplicaciones tratando de que el usuario esté siempre “conectado”.

Por consiguiente, el principal problema que encontramos es el consumo de energía en dispositivos móviles que hacen uso del servicio de conectividad a internet para el envío de datos.

##### 1.2.2 Área y línea de investigación

**Área:** Arquitectura, Redes de Computadoras y Transferencia de Datos

**Línea de Investigación:** Computación Móvil.

### 1.2.3 Tipos y nivel de investigación

#### Tipo de Investigación

**Tecnológica - Transversal:** El proyecto deberá aplicar los conocimientos de ahorro de energía en un prototipo de transferencia de datos. La API de Android y las tecnologías de conectividad que utiliza van cambiando con el tiempo, y uno de sus puntos principales es también obtener un mayor ahorro de energía. La investigación está hecha tomando en cuenta las características del Sistema Operativo Android más utilizado actualmente.

#### Nivel de Investigación

**Experimental:** Se ensaya una nueva solución para el ahorro de energía en dispositivos móviles, que tendrán que ser medible y mostrar resultados concretos.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 General

Proponer una estrategia basada en el contexto de conectividad (WiFi y 3G) para el ahorro de energía en dispositivos Android.

### 1.3.2 Específicos

- Analizar en qué momento los servicios de conectividad consumen más energía, y a partir de ello idear medidas de ahorro.
- Definir un modelo que permita reconocer el contexto en el que se encuentra el usuario para satisfacer las necesidades de información de la estrategia.
- Diseño e implementación de la estrategia de ahorro de energía para el dispositivo.
- Realizar pruebas y mediciones de la estrategia, para validar el ahorro.

## 1.4 Hipótesis

“Dada una estrategia de elección de la red de conectividad basada en el contexto de un usuario, es posible mejorar el nivel de consumo de energía de la batería del dispositivo móvil.”

## 1.5 Variables

### 1.5.1 Independientes:

- Contexto de usuario
- Interfaz de red
- Sistema operativo móvil Android.

### Indicadores

- Fuerza de la señal
- Tamaño del paquete a ser transmitido
- Estado de la red (activa-desactiva)
- Ubicación del usuario.

### 1.5.2 Dependientes: Ahorro de Energía de la Batería

### Indicadores

- Porcentaje de uso de la Batería por Tiempo de Uso.
- Nivel de energía consumida por Tiempo de Uso.

## 1.6 Justificación

El ahorro de energía en dispositivos móviles Android se ha convertido en un problema importante con una gran cantidad de tales dispositivos que se activan día a día. Los

smartphones y tablets Android contienen varios componentes hardware consumidores de la energía de la batería, que son explotados por desarrolladores de aplicaciones para ofrecer una mejor experiencia de uso al usuario final.

La mayoría de aplicaciones móviles, requieren el uso de servicios de conexión a Internet (WiFi y 3G), que si bien son las mayores consumidoras de energía, son imprescindibles para el funcionamiento de estas aplicaciones, ya que la mayoría debe contar con funciones de transferencia de información que van desde simples datos hasta imágenes ó video. Actualmente existe una tendencia en los usuarios de encontrarse siempre conectados a la Internet.

Sin embargo, la duración de la batería no ha aumentado al mismo ritmo para apoyar la demanda de energía necesaria para dichas aplicaciones del sistema operativo Android. Es así que se han llevado a cabo investigaciones para minimizar el consumo de energía de la batería de los smartphones, en busca de obtener un mayor tiempo de uso de los dispositivos que repercuta en una mejor experiencia para el usuario final, al aliviarse la molestia de cargar frecuentemente su dispositivo para poder hacer uso del mismo.

Es debido a estos factores que se convierte en un factor importante el ahorro de batería de los dispositivos para que puedan durar la mayor cantidad de tiempo posible. Es así como surge la necesidad de crear una estrategia de apoyo a las aplicaciones que ahorre la batería del dispositivo.

## **1.7 Alcances y Limitaciones**

### **1.7.1 Alcances**

La solución debe permitir un ahorro de energía de la batería del dispositivo en cuanto al uso de los servicios de conectividad (WiFi y 3G) para el envío de datos, permitiendo un mayor tiempo de ejecución de la aplicación móvil sin restarle prestaciones al mismo. Para esto se pretende el desarrollo de una estrategia de ahorro para conectividad consciente del contexto del usuario, enfocado únicamente para dispositivos con el sistema operativo Android 2.3 ó superior, y que cuenten con servicios de conectividad

de WiFi y paquete de datos. Contribuyendo en el aspecto de sostenibilidad ambiental al proyecto.

### 1.7.2 Limitaciones

La solución se limitó al uso de servicios de conectividad en aplicaciones de telemedicina que se tomó como caso de estudio, dado que son las que cuentan con mayores funciones de envío de datos rutinariamente. Además de otras limitaciones detectadas en el proyecto como la poca disponibilidad de múltiples dispositivos para pruebas de diferentes usuarios, por ello sólo se hicieron pruebas en 7 tipos de smartphones, o las limitaciones de conexión de red por WiFi resguardadas con clave ó falta de paquete de datos en el dispositivo. La propuesta se implementó a un nivel de aplicación para darle más portabilidad a la solución. Aparte de estas limitaciones técnicas hay que tener en cuenta que el aprendizaje del contexto puede presentar ciertas complicaciones si la rutina diaria del usuario es desordenada. Y finalmente no se tomó en cuenta el coste monetario del uso de paquetes de datos, ya que no se encuentra dentro de los objetivos del proyecto.



# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del Arte

Se revisó varios trabajos relacionados con el tema de ahorro de energía mediante software para dispositivos móviles; es decir, se tomó en cuenta investigaciones realizadas para laptops, *PDA* hasta dispositivos que usan el mismo sistema operativo que se estudia en el presente trabajo de tesis.

También se revisaron varios trabajos de aprendizaje y predicción de contexto, que toman en cuenta el uso óptimo del CPU de un dispositivo móvil, y por ende que no tienen un impacto grande en el uso de la batería.

Aunque algunos de los trabajos no guarden una relación directa con las interfaces de conectividad WiFi y 3G, que son las utilizadas en el presente trabajo de tesis; sin embargo, los análisis, métodos, estrategias y técnicas que se presentan en las investigaciones fueron de gran ayuda en el desarrollo de la propuesta de solución. De tal manera que en los siguientes capítulos de este documento se ven más a fondo los aportes de cada uno de los trabajos listados a continuación:

- a) **“Context-Based Network Estimation for Energy-Efficient Ubiquitous Wireless Connectivity”**

**Universidad Rice, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación – Houston, Texas**

**Ahmad Rahmati y Lin Zhong - 2011**

**Resumen:** En este trabajo analizan los diferentes gastos energéticos en cada fase de conexión de las interfaces 3G y WiFi. Y proponen usar las ventajas complementarias de cada una al seleccionar automáticamente la más eficiente de

acuerdo a la información de contexto sobre las condiciones energéticas de la red celular. Hacen uso de 4 algoritmos para la selección de la red más adecuada para la transferencia de datos basado en una estimación de las condiciones de red en un ambiente con *Windows Mobile*. Se formula la selección de redes como un problema netamente estadístico, y hacen uso de diferentes variables de contexto como tiempo, historia, movimiento del dispositivo y otros. A diferencia del presente trabajo ellos eligen la red más ahorrativa estimando un gasto energético dado por modelos estadísticos de su investigación.[1]

b) **“Energy conservation in wireless sensor networks: a rule-based approach”**

**Universidad Latrobe – Australia, Universidad de Monash – Australia, Universidad de Portsmouth – UK.**

**Suan Khai Chong, Mohamed Medhat Gaber, Shonali Krishnaswamy y Seng Wai Loke - 2011**

**Resumen:** Se propone el desarrollo de un framework llamado CAS: Context Awareness in Sensing Enviroments, cuyo objetivo es la conservación de energía en sensores para redes inalámbricas. Se propone conceptos y técnicas para extraer información del ambiente que son útiles para la función de los sensores, y de acuerdo a una serie de reglas activar modos ahorrativos de los sensores. Este trabajo fue hecho especialmente para sensores de *PDA*. [2]

c) **“Android Smartphone: Battery saving service”**

**Centro Avanzado para Tecnologías de la Información, Universidad de Malasia - Malasia**

**Ismail Zahid, Muna A. Ali, y Rasheed Nassr- 2011**

**Resumen:** Desarrollan y evalúan un servicio en Android llamado ASPSS

(Android Smart Power Save Service) para el ahorro de energía orientado a usuario. Trata de utilizar los tiempos ociosos del Smartphone para detener tecnologías como WiFi y Bluetooth, y aplicaciones que consumen energía y que no se están usando en esos momentos. Este servicio provee opciones al usuario para seleccionar tecnologías y programas que deben ser detenidos o resumidos cuando ciertas condiciones ocurran. Estas preferencias se mantendrán en un archivo y se aplicaran cuando la condición tenga lugar de manera automática. [3]

d) **“A Framework of Energy Efficient Mobile Sensing for Automatic User State Recognition”**

**Universidad del Sur de California, Universidad Carnegie Mellon, Centro de Investigación Nokia – Estados Unidos**

**Yi Wang, Jialiu Lin, Murali Annavaram, Quinn A. Jacobson, Jason Hong, Bhaskar Krishnamachar y Norman Sadeh - 2009**

**Resumen:** Presentan un framework para reconocer el estado y actividad del usuario. A través de un archivo XML van reconocimiento la actividad que está realizando el usuario, para activar los sensores que se necesitan y desactivar el resto. El archivo está construido de tal manera que se van activando los sensores de menor consumo hasta los de mayor consumo energético. Para el reconocimiento de la actividad, es necesario activar sensores que posiblemente sean desactivados después de haberse realizado este proceso, y eso implica un coste energético extra. [4]

e) **“Improving Energy Efficiency of Wi-Fi Sensing on Smartphones”**

**Universidad de California, Universidad de Michigan, Laboratorios Telekom R&D – Estados Unidos**

**Kyu-Han Kim, Alexander W. Min, Dhruv Gupta, Prasant Mohapatra y Jatinder Pal Singh- 2011**

**Resumen:** Implementan un sistema para smartphones Android que emplea la información de movimiento del usuario obtenida a través de sensores de bajo consumo de batería (ejm.acelerómetro) para perfilar la información de red, y finalmente incluye algoritmos adaptativos de detección de WiFi que hace uso de estos perfiles, con la finalidad de conservar la energía de la batería al activar la fase de detección cuando haya más posibilidades de que se encuentre una red WiFi disponible.[5]

f) **“Power Consumption and Conservation in WiFi Based Phones: A Measurement-Based Study”**

**Universidad de California, Departamento de Ciencias de la Computación – California, EEUU**

**Ashima Gupta and Prasant Mohapatra- 2011**

**Resumen:** Proporciona un estudio detallado del consumo de energía de diversos componentes de los smartphone Android que hacen uso de WiFi, se analizó el consumo de energía con diferentes cargas de trabajo para cada uno de los componentes de red. El impacto de la fase de detección y otras cuestiones en el consumo de energía son cuantificados a través de mediciones reales. Además proporciona varias referencias de métodos de conservación de energía para WiFi[6]

g) **“Mobility Prediction-based Smartphone Energy Optimization for Everyday Location Monitoring”**

**Yohan Chon, Elmurod Talipov, Hyojeong Shin y Hojung Cha - 2011**

**Resumen:** Introducen un esquema de monitoreo de la movilidad (ubicación y tiempo) de un usuario basado en predicciones llamado SmartDC. Hace uso de un aprendizaje no supervisado y un predictor Makroviano de orden 1 y 2 para estimar la regularidad de movilidad y predecir las siguientes ubicaciones del usuario de acuerdo a un aprendizaje de sus costumbres. Este trabajo analiza y comprueba la eficiencia de la técnica de cadenas de Markov en dispositivos móviles Android, inclusive en comparación con otros métodos. [7]

h) “Network Availability Prediction: Can it be done?”

**NICTA, Centro Nacional de Investigación de Tecnologías de Información y Comunicaciones - Australia**

**Aruna Seneviratne, Jhoanna Rhodette Pedrasa y Upendra Rathnayake - 2011**

**Resumen:** Se analiza la problemática de predecir una interfaz de red disponible para el usuario, en un intento de satisfacer la necesidad del mismo por mantenerse conectado a Internet. Presentan un diseño que hace uso de la información de conectividad del dispositivo local y de dispositivos de terceros como datos de entrenamiento para un red bayesiana dinámica, que es el mecanismo de predicción de esta propuesta [8]

## 2.2 Sistema Operativo Android

Android es un sistema operativo móvil basado en Linux, que junto con aplicaciones middleware está enfocado para ser utilizado en dispositivos móviles como teléfonos inteligentes, tabletas, Google TV y otros dispositivos. Es desarrollado por la Open Handset Alliance, la cual es liderada por Google. Este sistema por lo general maneja aplicaciones como Google Play.

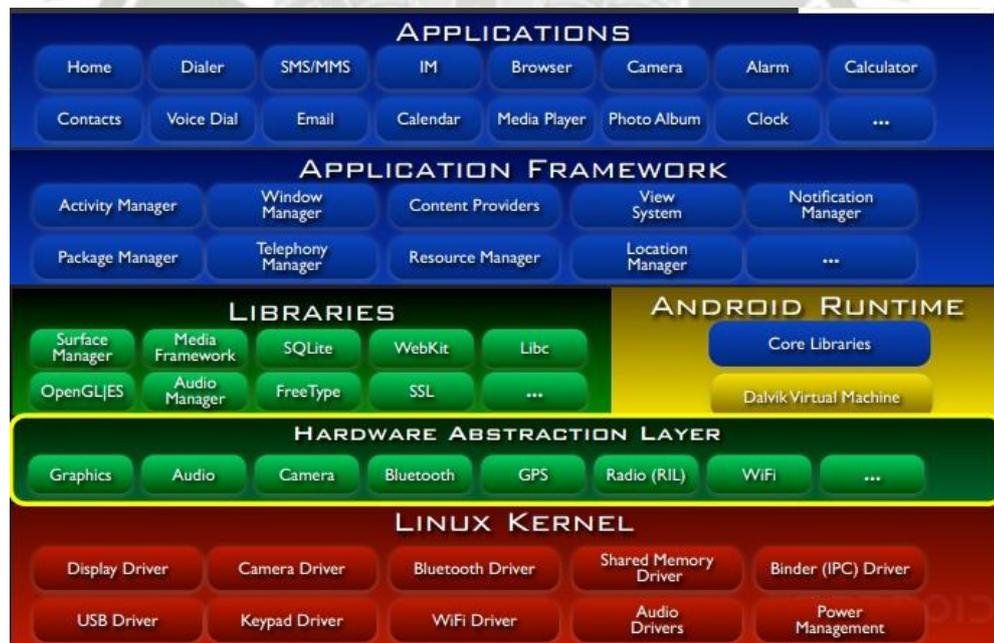
Fue desarrollado inicialmente por Android Inc., una firma comprada por Google en 2005. Es el principal producto de la Open Handset Alliance, un conglomerado de fabricantes y desarrolladores de hardware, software y operadores de servicio.

El sistema permite programar aplicaciones en una variación de la máquina virtual de Java denominada Dalvik. El sistema operativo proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones que accedan a las funciones del teléfono (como el GPS, las llamadas, la agenda, etc.) de una forma muy sencilla en un lenguaje de programación muy conocido como es Java.

### 2.2.1 Fundamentos de cada Aplicación

El SO Android es un sistema Linux Multi-Usuario. Cada aplicación es un usuario diferente y tiene su propia máquina virtual. Cada aplicación, por defecto, solo tiene acceso a sus componentes: Actividad, Servicio, Content Providers, Broadcast Receiver.[9]

### 2.2.2 Arquitectura Android



**Figura1. Arquitectura Android SO**  
**Fuente: Android Anatomy and Physiology [10]**

**Linux Kernel.** -Android está construido sobre un kernel de Linux, no es una distribución de Linux. Por lo tanto no contiene todas las utilidades de Linux, o soporte a glibc. Se usó el kernel de Linux por su buena administración de memoria y procesamiento, modelo de seguridad basado en permisos, y ya es open source. Se hicieron algunas mejoras del kernel para Android, las más significativas: Binder (IPC) y el Power Management.

**Capa de Abstracción de Hardware.**- Basa en C/C++. Define la interfaz que Android necesita de los drivers de hardware. Separa la plataforma lógica de la interfaz hardware.

**Librerías Nativas.**- Contienen implementaciones personalizadas de librerías para Android. Además de contener las librerías de funcionalidad como WebKit, Media Framework, SQLite entre otros.

**AndroidRuntime.**- Contiene las librerías del Core y la máquina virtual Dalvik. Cada aplicación Android corre su propio proceso, con su propia instancia de una máquina virtual Dalvik.

- **Dalvik:** Provee a la aplicación consistencia y portabilidad. Convierte los .class/.jar de Java a un nuevo formato optimizado .dex
- **Librerías del Core:** Librerías básicas del lenguaje Java proveen una plataforma de desarrollo poderosa, simple y familiar.

**Application Framework.**- Aquí se encuentran los servicios necesarios para el funcionamiento de la plataforma Android. Los desarrolladores tienen acceso total al framework usado para las aplicaciones base.

El servicio de conectividad de Android tiene reglas “hard-coded” para manejar la administración de las interfaces de conectividad que no pueden ser cambiadas. La interfaz WiFi tiene prioridad, por tener una mejor performance y porque el consumo de un paquete de datos 3G no es gratuito. Cuando el usuario prende y se conecta a WiFi, el 3G se desactiva. Cuando el usuario prende el 3G, éste se

desactivará si es que ya se encuentra activado el WiFi. Si el usuario apaga el WiFi, la interfaz de 3G puede activarse automáticamente (si el usuario lo permite en la configuración). Con estas reglas es imposible que las dos interfaces se encuentren activas al mismo tiempo. No existe una interfaz de usuario que cambie esto.[11]

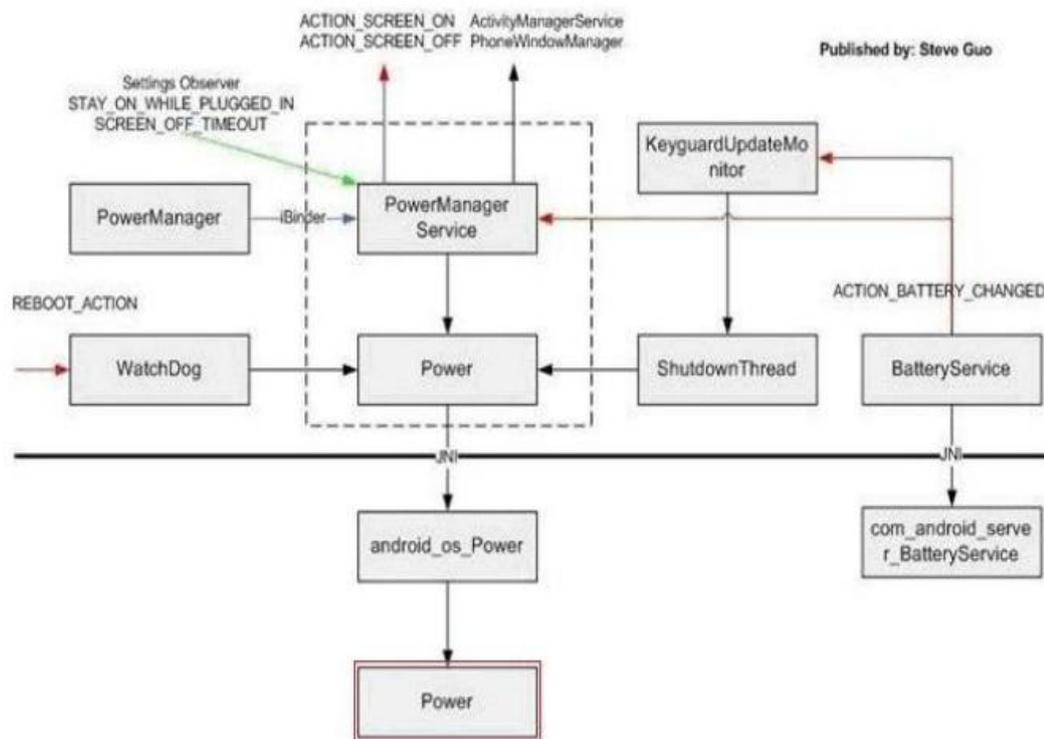
**Applications:** Android viene con aplicaciones base que incluyen un cliente de email, programa SMS, calendario, mapas, navegador, contactos, y otros.[10]

### 2.2.3 Android Power Management

El Power Management implementado en Android está construido sobre el Power Management estándar de Linux, con una política más agresiva los “*WakeLocks*”. Que son mecanismos que permiten controlar el estado de energía del dispositivo, como mantener la pantalla apagada mientras se realiza un proceso, desactivar el teclado. Básicamente controla: CPU, Pantalla y Teclado.

El Power Management implementado en Android está construido sobre el Power Management estándar de Linux, con una política más agresiva para administrar y ahorrar energía. Para reducir el gasto de energía, múltiples características de ahorro de energía en hardware son usadas por Linux tales como *clock-gating*, escalamiento voltaje, activación sleepmodes y deshabilitar memoria caché. Cada una de estas características reduce el consumo de energía a expensas de latencia y/o performance. Estas ventajas y desventajas de un sistema Linux son manejados por el *APM* (Advance Power Management) ó bien por *ACPI* (Advanced Configuration and Power Interface).

*APM* es un subsistema de administración de energía basado en BIOS que todavía se usa en sistemas antiguos, por ser más simple. En cambio los nuevos sistemas usan la administración basada en *ACPI*. *ACPI* es más centrada al sistema operativo que *APM* y también ofrece más características como una estructura de árbol para desactivar los dispositivos de modo que los componentes del subsistema no sean apagados antes de que el propio subsistema.



**Figura2. Arquitectura Android Power Management**  
**Fuente: Power Management from Linux Kernel to Android [12]**

En contraste con el sistema estándar de Linux, Android no usa ni *APM* ni *ACPI* para la administración de energía. Como se ve en la Figura 2, Android tiene su propia extensión de administrador de energía de Linux. El driver principal de energía (Que se muestra al final de la Ilustración como “Power”) fue añadido al kernel de Linux para facilitar esta funcionalidad.

Este módulo provee driver de bajo nivel para controlar los periféricos soportados por el Administrador de Energía. Estos periféricos actualmente incluyen: visualización de la pantalla, retro iluminación del teclado y el botón de luz de fondo. La energía de cada periférico es controlada a través del uso de *WakeLocks*. Estos *wakelocks* son usados a través de API cuando una aplicación requiere administrar un periférico para que este siga encendido. (Cada configuración de los *wakelock* son mostrados en la Ilustración 3)

Flag Value	CPU	Screen	Keyboard
Partial Wake Lock	On*	Off	Off
Screen DIM Wake Lock	On	Dim	Off
Screen Bright Wake Lock	On	Bright	Off
Full Wake Lock	On	Bright	Bright

*\*If you hold a partial wakelock, the CPU will continue to run, irrespective of any timers and even after the user presses the power button. In all other wakelocks, the CPU will run, but the user can still put the device to sleep using the power button.*

**Figura 3. Configuración de los WakeLocks Android**

**Fuente: A survey on android vs. Linux[13]**

Además de los WakeLocks el Administrador de Energía también monitorea el nivel de la batería y el estado del dispositivo. Este servicio coordina con los circuitos de carga de la batería y también apaga el sistema cuando la batería llega a un umbral crítico.

## 2.3 Redes Móviles

Los teléfonos móviles funcionan enviando y recibiendo señales de radio de baja potencia. Las señales se intercambian con antenas que están conectadas a transmisores y receptores de radio, comúnmente conocidos como estaciones base de telefonía móvil. Las estaciones base están conectadas al resto de las redes de telefonía fija y móvil y pasan la señal (llamada) a esas redes.

Para proporcionar un servicio de telefonía móvil de buena calidad, las estaciones base deben estar emplazadas donde se usan los teléfonos móviles.

Una red móvil generalmente se diseña en base a una “cuadrícula celular” que cubre un área geográfica. Las estaciones base se colocan ya sea en el centro de cada celda o en el vértice de un grupo de celdas. La cantidad de estaciones base requeridas para un área dada dependerá del terreno y la cantidad de personas que utilicen teléfonos móviles.

Las redes móviles tienen una capacidad finita para atender llamadas telefónicas simultáneas. Cuantas más personas utilizan los teléfonos móviles, más capacidad se

necesita y es necesario instalar más estaciones base, más cercanas entre sí. Las redes móviles deben ser diseñadas de acuerdo con la población local y la cantidad de personas que usan la red.

Los teléfonos móviles y las estaciones base están diseñados para cumplir con las estrictas normas de seguridad recomendadas por la Organización Mundial de la Salud.

### **2.3.1 Tecnologías Inalámbricas**

En los inicios de la telefonía móvil, los dispositivos móviles solo permitían acceder a servicios de voz, mientras que actualmente es posible encontrar una amplia gama de servicios que pueden ser accedidos desde un único dispositivo: voz, mensajes multimedia, banda ancha, y múltiples aplicativos que hacen del teléfono una herramienta única. La amplia disponibilidad de dispositivos convergentes avanzados (Smartphones, Tablets) y las características que estos presentan ha contribuido a que el teléfono móvil se convierta en una herramienta indispensable en la vida diaria del ser humano. 3G y los datos de alta velocidad han transformado los servicios inalámbricos y de telefonía móvil disponibles.

#### **a) 3G**

3G significa de telefonía móvil de tercera generación. Los teléfonos móviles y dispositivos inalámbricos que usan 3G envían y reciben datos mucho más rápido que los sistemas de segunda generación (2G) y ofrecen la posibilidad de muchas más funciones y aplicaciones.

3G puede manejar más llamadas de voz y proporciona tasas de comunicación de datos más altas y servicios multimedia avanzados como video telefonía y banda ancha móvil.

En términos técnicos, 3G es un término genérico que cubre una gama de estándares de redes y tecnologías inalámbricas que incluyen:

## **UMTS/WCDMA**

La tecnología UMTS (Universal Mobile Terrestre System), también es conocida como WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), aunque debe quedar claro que el nombre de WCDMA hace referencia a la interfaz de radio que se basa en el ensanchamiento de espectro a 5MHz (desde el original 1,25 MHz de las primeras versiones de CDMA (IS95)). UMTS se encuentra especificado por el Release 99. Según el Release 99 se alcanza tasas teóricas de 2 Mbps en el Downlink, sin embargo los valores comerciales están por debajo de 300 Kbps.

## **EDGE**

EDGE es el acrónimo para Enhanced Data Rates for GSM Evolution (Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM). También conocida como EGPRS (Enhanced GPRS).

Es una tecnología de la telefonía móvil celular, que actúa como puente entre las redes 2G y 3G. EDGE se considera una evolución del GPRS (General Packet Radio Service). Esta tecnología funciona con redes GSM. EDGE puede alcanzar una velocidad de transmisión de 384 Kbps en modo de paquetes, con lo cual cumple los requisitos de la ITU para una red 3G.

## **HSDPA**

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), se encuentra especificado mediante el Release 5 del Grupo 3GPP. La tecnología HSDPA permite tasas teóricas pico de hasta 14.4 Mbps en el Downlink, haciendo un uso de 5 MHz de espectro.

## **HSUPA**

La tecnología HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) está especificada mediante el Release 6. HSUPA hace mejoras en el Uplink alcanzando tasas de subida de hasta 5.8 Mbps, mientras que la tasa pico en el enlace de bajada se mantiene igual a la de HSDPA.

## **HSPA+**

El Grupo 3GPP ha emitido diversos Releases para especificar a la tecnología HSPA+, partiendo desde el Release 7 hasta el Release 11 (también conocido como HSPA+Advanced). HSPA+ incluye mejoras en la interfaz aire, al incluir HOM (High Order Modulation), MIMO (Multiple Input Multiple Output) y CA (Carrier Agregation).

## **b) LTE**

LTE (*Long-Term Evolution*) es la siguiente gran optimización a las redes de radiocomunicaciones móviles. LTE es una norma que está siendo definida como parte de la evolución futura de 3G, que incorpora velocidades de datos significativamente mayores y un mejor rendimiento para optimizar la experiencia de banda ancha móvil.

LTE, como todas las demás normas de radiocomunicaciones, se basa en el uso de ondas de radio o energía de radiofrecuencia (RF) para transmitir y recibir llamadas de voz y datos.

## **c) WiMAX**

WiMAX, que significa Worldwide Interoperability for Microwave Access, es una tecnología de telecomunicaciones destinada a transmitir datos en forma inalámbrica en grandes distancias en una diversidad de maneras. WiMAX proporciona una tecnología de acceso inalámbrico a Internet como alternativa a los cables y a las líneas de usuarios digitales (DSL). Las redes WiMAX permiten una variedad de opciones para conexiones de banda ancha. Las redes WiMax son esencialmente una versión más grande de una red WiFi.

Los dispositivos personales basados en WiMAX emiten niveles muy bajos de ondas de radio, también conocidos como campos electromagnéticos de radiofrecuencia, cuando se los utiliza.

## d) WiFi

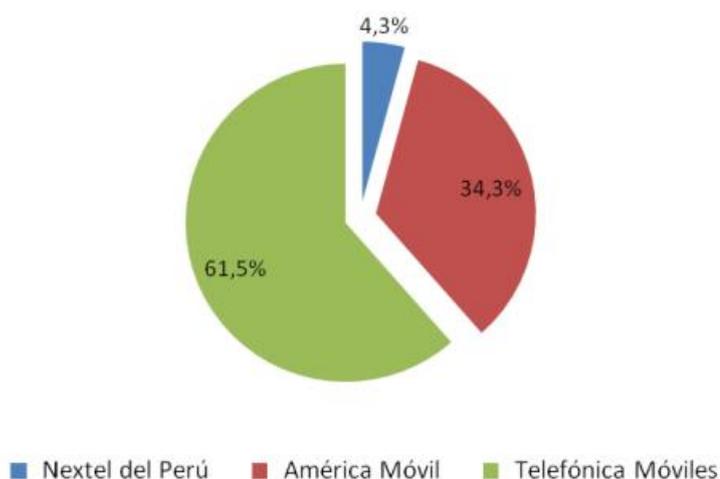
WiFi, la abreviatura de Wireless Fidelity, es el término utilizado para describir las conexiones de red inalámbrica de alta velocidad tales como computadoras portátiles y la Internet.

WiFi es un tipo de red inalámbrica. También se está usando cada vez más para la comunicación entre los dispositivos electrónicos de consumo tales como televisión, reproductores de DVD, cámaras digitales y teléfonos móviles.

### 2.3.2 Mercado de Telefonía Móvil en el Perú

#### Tecnología Móvil

Según información reportada por los operadores móviles al OSIPTEL, a diciembre de 2011 existían 32.31 millones de teléfonos móviles, cifra que representa a un tele densidad de 112.1%, observándose que en 10 departamentos del país la tasa de penetración está por encima del 100%. Esta cifra se reparte en los 3 operadores móviles.



**Figura 4. Mercado de Telefonía Móvil Diciembre 2011**  
Fuente: Evolución de las Redes de Telefonía Móviles [14]

## **Banda Ancha Móvil**

Asimismo, según el Barómetro Cisco de Banda Ancha, a la misma fecha existían alrededor de 225,500 conexiones de banda ancha móvil (comprende accesos desde módems y teléfonos móviles, en planes prepago y postpago) mostrando un crecimiento de 128.64% con respecto al año anterior.

En nuestro país se cuenta con la presencia de tres operadores que ofrecen servicios de banda ancha mediante sus redes de telefonía móvil. Según estadísticas contenidas en el Plan Nacional para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Perú, a junio de 2011 existían 313,115 conexiones de banda ancha móvil lo que representaba al 24% del mercado de banda ancha.

Asimismo, el operador Velatel (Ex Chinatel, dueña del 95% de las acciones de Perusat), también ofrece el servicio de banda ancha móvil mediante su red WiMAX en la banda de 2.6 GHz en algunas zonas del interior del país que comprende a ciudades representativas de 7 departamentos del país. Al producto se le conoce comercialmente con el nombre de “Go Móvil”, y es accedido mediante dispositivos Indoor (Modem, Dongle, Mi-Fi), Modem Outdoor y Tabletas WiMAX.

## **Redes Móviles**

En nuestro país se cuenta con la presencia de redes HSPA (Release 5 y 6), implementadas por los operadores América Móvil, Telefónica Móviles y Nextel del Perú. América Móvil fue el primer operador en ofrecer este tipo de servicio, al lanzar el producto de manera comercial en marzo de 2008. Posteriormente siguió Telefónica Móviles, quien lanzó su servicio de banda ancha móvil en mayo de 2009. Por último, Nextel del Perú lanzó comercialmente su servicio a inicios de diciembre del 2010. Dichas redes fueron lanzadas con la denominación 3G (para UMTS) y 3.5G (para HSDPA).

En noviembre del 2012, el operador América Móvil anunció el lanzamiento comercial de su red de banda ancha móvil ofrecida mediante la tecnología HSPA+

(Release 7). Según algunas notas de prensa, América Móviles invirtieron alrededor de 15 millones de dólares (lo cual indica que para pasar de HSUPA a HSPA+ es necesario realizar una mejora a la red en lugar de hacer cambios significativos en el equipamiento de red) en actualizar su red a HSPA+, red a la que ha denominado 3.5G.

Por su lado Movistar también ha desplegado una red de este tipo, que si bien por el momento no se tiene una amplia cobertura limitándose a algunos distritos de Lima y del interior del país.

En relación a LTE, ya se tienen comunicados oficiales por parte de los operadores móviles respecto a la migración hacia redes de este tipo, y ya se tiene conocimiento de pruebas realizadas por algunos operadores para la implementación de LTE.

### Cobertura Móvil

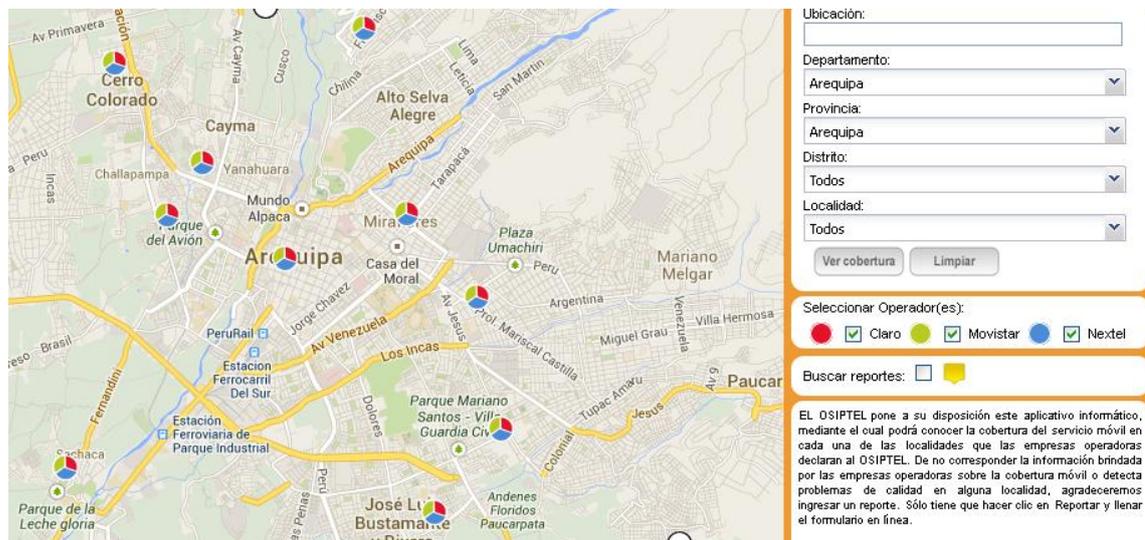
El indicador CR (Cobertura radioeléctrico) es definido como el porcentaje de mediciones de nivel de señal recolectadas en pruebas de campo que fueron superiores o iguales al valor límite de -95 dBm, por ejemplo si durante la recolección de la información se tomaron 100 mediciones de nivel de señal y 95 de ellas fueron superiores a -95 dBm entonces el CR sería 95%. A continuación se muestra los resultados de CR para cada centro poblado en la Tabla 1.

Departamento	Provincia	Distrito	Centro Poblado	Movistar - GSM	Claro - GSM	Nextel – IDEN – IX <sup>2</sup>
Arequipa	Arequipa	Characato	Characato	97.58%	93.03%	92.75%
Arequipa	Arequipa	JLB y R	Ciudad Satélite	97.02%	99.01%	99.67%
Arequipa	Arequipa	Paucarpata	Paucarpata	90.75%	96.92%	87.55%
Arequipa	Arequipa	Camaná	Camaná	97.76%	99.39%	NC <sup>2</sup>

**Tabla 1. Cuadro de Índice CR para Arequipa**

Fuente: [www.osiptel.gob.pe](http://www.osiptel.gob.pe) [15]

Como se aprecia la ciudad de Arequipa cuenta con un indicador de cobertura muy alto. Además como se aprecia en la Figura 5, cuenta con cobertura en todos sus distritos por parte de los 3 operadores.



**Figura 5. Mapa de Cobertura Móvil Arequipa**

**Fuente: [www.osiptel.gob.pe](http://www.osiptel.gob.pe) [15]**

## 2.4 Tecnología Batería de Ión de Litio

La batería de Ión de Litio (a veces batería Li-ion o LIB) es un miembro de la familia de las baterías recargables en donde los iones de litio se mueven del ánodo al cátodo durante la descarga y vuelven durante la carga. Las baterías de Li-ion utilizan un compuesto de litio intercalado como el material del electrodo.

Las baterías Li-ion son comunes en los electrónicos de consumo. Son de los tipos más populares de baterías recargables para electrónicos portables, con las mejores densidades energéticas, no efecto memoria (aunque hay estudios que muestran signos de un efecto memoria en las baterías), y una pérdida lenta de carga cuando no está siendo usada.

### **Ventajas**

- Alta densidad energética, potencial para capacidades más altas.
- No necesita un proceso prolongado cuando son nuevas. Una carga normal es todo lo que se necesita.
- Relativamente baja auto descargada, la auto descarga es menos de la mitad de las baterías de níquel.
- Poco mantenimiento, no se necesita ninguna descarga periódica ya que no hay memoria
- Celdas especializadas pueden proporcionar corriente muy elevada a las aplicaciones tales como herramientas eléctricas.

### **Desventajas**

- Requiere de un circuito de protección para mantener la tensión y la corriente dentro de límites seguros.
- Sujeto al desgaste, incluso si no está en uso, conservar en lugar fresco a 40% de la carga reduce el efecto de desgaste.
- Restricciones de Transporte - envío de una cantidad alta puede estar sujeto a control reglamentario.
- Costo alto de fabricación, un 40% más alto que el costo de níquel-cadmio.
- No del todo madura - metales y productos químicos están cambiando de forma continua.

## **2.5 Computación Consciente del Contexto**

La cantidad de información accesible se incrementa día a día, al mismo tiempo la información electrónica y la información asociada crece sostenidamente. Haciendo muy difícil encontrar información relacionada a la situación actual. Entender los diferentes tipos de contexto, y las posibilidades creadas por su uso, son de vital importancia para el área de computación consciente de contexto.

### 2.5.1 Definición de Contexto

La primera definición de contexto, es dada por Schilit et al[16], identificando como contexto la ubicación, las personas cercanas y los dispositivos accesibles. En otros trabajos se define al contexto como la ubicación, la identidad de las personas cercanas, estación, temperatura, ambiente, el estado emocional del usuario y/o otros. Estas definiciones que nos dan un concepto de contexto por ejemplo, son difíciles de aplicar. Cuando se quiere determinar si un tipo de información no listada en la definición es contexto o no, entonces las definiciones dadas anteriormente no resuelven el dilema.

Otras definiciones simplemente proveen sinónimos de contexto, por ejemplo al referirnos al contexto como el ambiente o la situación. Algunos consideran al contexto como el ambiente del usuario, mientras otros lo consideran como el ambiente de la aplicación. Como con las definiciones por ejemplos, las definiciones por sinónimos son difíciles de aplicar en la práctica.

Otras definiciones recalcan lo aspectos importantes de un contexto como son: ambiente computacional, ambiente del usuario, ambiente físico, el estado social y/o emocional del usuario, etc. Dando a entender que el contexto es toda situación relevante para la aplicación y para sus usuarios, No se puede enumerar cuales aspectos siempre van a ser importantes, ya que todo cambia de situación a situación. Es así que en el trabajo de Dey y Abowd[17] se encuentra la siguiente definición:

*“El contexto es cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que es considerada relevante para la interacción entre un usuario y una aplicación, incluidos los propios usuarios y aplicaciones.”*

### 2.5.2 Aplicaciones conscientes del contexto

Se puede definir a una **aplicación consciente del contexto** como: un software que usando la información de contexto determina su comportamiento o activa un evento de interés para el usuario.

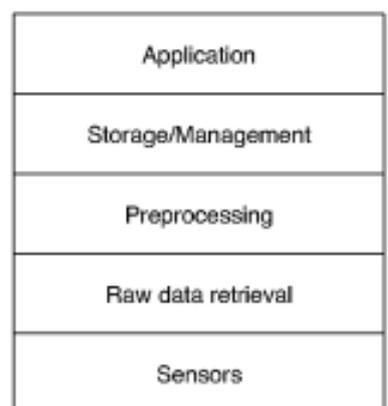
Aunque la información acerca del contexto actual puede estar disponible a las aplicaciones móviles, como usar efectivamente esa información es un reto para los desarrolladores. Haciendo un análisis se puede dar una clasificación de aplicaciones consciente de contexto, como esta:

- **Reconfiguración Automática Contextual**, un proceso de añadir nuevos componentes, remover componentes existentes, o alterar la conexión entre componentes debido a un cambio de contexto.
- **Información Contextual**, la aplicación muestra diferentes resultados dependiendo del contexto actual del usuario.
- **Acciones activadas por contexto**, reglas simples IF-ELSE usadas para especificar como sistemas conscientes del contexto deberían adaptarse.

Sin embargo pueden aparecer aplicaciones que no entren en esta clasificación, y es que el campo de computación consciente de usuario es reciente y no se ha visto todavía todo su potencial.

### 2.5.3 Arquitectura

Cada sistema consciente de contexto tiene características y modelos únicos dependiendo de sus necesidades. Sin embargo en [18] nos presenta una arquitectura básica para un sistema que toma en cuenta el contexto.



**Figura 6. Arquitectura Sistema Consciente Contexto**  
Fuente: A survey on context-aware systems[18]

## a) Sensores

La primera capa consiste en una colección de diferentes sensores, La palabra “sensor” no solo se refiere al hardware sino también a cada fuente de información que pueda proveer información de contexto. De acuerdo a como la data es obtenida, se pueden clasificar a los sensores en 3 grupos:

- **Sensores Físicos**, son los tipos más usados de sensores, Muchos sensores de hardware que están disponibles en la actualidad son capaces de capturar casi cualquier tipo de data física.
- **Sensores Virtuales**: Proveer información de contexto a partir de aplicaciones software o servicios. Por ejemplo, es posible determinar la ubicación de un empleado no sólo usando un GPS sino también a través de una ubicación dada en el calendario. Otro atributo de contexto dado por sensores virtuales puede ser la actividad del usuario.
- **Sensores Lógicos**: Estos sensores hacen uso de un par de fuentes de información, y combinan los sensores físicos y virtuales con información adicional de la base de datos u otra fuente de información para obtener atributos de más alto nivel.

## b) Recuperación de datos primarios

Hace uso apropiado de drivers para los sensores físicos y APIs para los sensores virtuales y lógicos. La funcionalidad de recuperación es comúnmente implementada en componentes reusables de software que pueden hacer transparente detalles de bajo nivel de acceso de hardware, al proveer métodos abstractos como getPosition(). De tal manera, que es posible reemplazar un sistema RFID por un sistema GPS sin mayor modificación para las capas de más alto nivel.

### **c) Pre procesamiento**

Esta capa no está implementada en todos los sistemas conscientes del contexto pero pueden ofrecer información útil, ya que es responsable de interpretar información contextual. Los sensores de las capas inferiores usualmente capturan datos técnicos que no son apropiados para usar por diseñadores de aplicaciones. Entonces esta capa convierte los datos en datos con más nivel de abstracción. Por ejemplo la posición GPS de una persona puede no ser un valor para la aplicación, pero si el nombre del lugar donde se encuentra.

Obviamente, la funcionalidad de abstracción de esta capa puede hacerse en la aplicación pero por varias razones es mejor encapsular esta tarea.

### **d) Almacenamiento y Administración**

Esta capa organiza la información reunida y la ofrece mediante una interfaz al usuario. Es importante tener usar algún tipo de histórico del contexto.

### **e) Aplicación**

En esta capa es donde se realiza la funcionalidad de la aplicación a partir de la información contextual, como puede ser la reacción a diferentes eventos.

## **2.6 Cadenas de Markov**

Las cadenas de Markov son una herramienta para analizar el comportamiento y el gobierno de determinados tipos de procesos estocásticos, esto es, procesos que evolucionan de forma determinista a lo largo del tiempo en torno a un conjunto de estados.

Una cadena de Markov, por tanto, representa un sistema que varía su estado a lo largo del tiempo, siendo cada cambio una transición del sistema. Dichos cambios no están predeterminados, aunque sí lo está la probabilidad del próximo estado en función de los estados anteriores, probabilidad que es constante a lo largo del tiempo (sistema

homogéneo en el tiempo). Eventualmente, en una transición, el nuevo estado puede ser el mismo que el anterior y es posible que exista la posibilidad de influir en las probabilidades de transición actuando adecuadamente sobre el sistema (decisión).

### 2.6.1 Cadenas de Markov finitas.

Para definir una cadena de Markov finita hace falta determinar los siguientes elementos.

1. Un conjunto de estados del sistema.
2. La definición de transición.
3. Una ley de probabilidad condicional, que defina la probabilidad del nuevo estado en función con los anteriores.

Los estados son una caracterización de la situación en la que se haya el sistema en un instante dado, dicha caracterización puede ser tanto cuantitativa como cualitativa, el estado de un sistema en un instante  $n$  es una variable cuyos valores solo pueden pertenecer al conjunto de estados del sistema. El sistema es modelado por la cadena, por lo tanto es una variable que cambia de valor en el tiempo, cambio al que llamamos transición.

Dicho de otro modo, una cadena de Markov es una secuencia  $X_1, X_2, X_3, \dots$  de variables aleatorias. El rango de estas variables, es llamado espacio estado, el valor de  $X_n$  es el estado del proceso en el tiempo  $n$ . Si la distribución de probabilidad condicional de  $X_{n+1}$  en estados pasados es una función de  $X_n$  por sí sola, entonces:

$$P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_2 = x_2, X_1 = x_1) = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n).$$

Donde  $x_i$  es el estado del proceso en el instante  $i$ . La identidad mostrada es la propiedad de Markov: El estado en  $n + 1$  sólo depende del estado en  $n$  y no de la evolución anterior del sistema.

## 2.6.2 Matriz de Transición

En las cadenas finitas de orden 1, la forma más cómoda de expresar la ley de probabilidad condicional de la misma es mediante la llamada matriz de probabilidades de transición  $P$ , o más sencillamente, matriz de la cadena.

Dicha matriz es cuadrada con tantas filas y columnas como estados tiene el sistema, y los elementos de la matriz representan la probabilidad de que el estado próximo sea el correspondiente a la columna si el estado actual es el correspondiente a la fila.

Como el sistema debe evolucionar a  $t$  a alguno de los  $n$  estados posibles, las probabilidades de transición cumplirán la propiedad siguiente:

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1$$

Además, por definición de probabilidad, cada una de ellas ha de ser no negativa.

Cuando las  $p_{ij}$  cumplen las propiedades arriba indicadas, la matriz  $P$  es una matriz estocástica: la suma de valores de las filas de la matriz será siempre igual a 1 (la suma de valores de las columnas no tiene ninguna propiedad especial).

## 2.7 Telemedicina

Se define como telemedicina la prestación de servicios de medicina a distancia. Para su implementación se emplean usualmente tecnologías de la información y las comunicaciones. La palabra procede del griego *tele* que significa 'distancia' y medicina. La telemedicina puede ser tan simple como dos profesionales de la salud discutiendo un caso por teléfono hasta la utilización de avanzada tecnología en comunicaciones e informática para realizar consultas, diagnósticos y hasta cirugías a distancia y en tiempo real. Existe últimamente una revisión conceptual del término "telemedicina". Se entiende que el término "eSalud" es mucho más apropiado, en tanto que abarca un campo de actuación más amplio.

### 2.7.1 Aplicaciones de la Telemedicina

En la actualidad, dentro del campo de la telemedicina, podemos encontrar que se usa básicamente en 2 áreas de trabajo: La práctica y la educación. Básicamente, la educación médica hace uso de las técnicas de videoconferencia, ya que de esta manera se saca mayor provecho a los recursos educativos y las experiencias presentadas en la exposición.

Dentro de la práctica es posible resaltar las siguientes formas:

- **Telediagnóstico:** Diagnóstico a distancia o diagnóstico remoto, es la técnica que mayor impacto causa, dadas las múltiples ventajas con que se presenta y el amplio aprovechamiento de la tecnología. Consiste en evaluar o asistir en la evaluación médica de un paciente desde un centro hospitalario que se encuentre distante, haciendo uso de las telecomunicaciones para llevar a cabo esta acción.
- **Monitoreo remoto a pacientes:** Existe la posibilidad de medir y monitorear algunos parámetros del organismo de los pacientes a través de medios electrónicos y de comunicación remota. Entre estos parámetros se encuentran la glucosa, la presión arterial, etc.
- **Reuniones médicas para obtener segundas opiniones (Teleconferencia):** Por medio de videoconferencia, es factible convocar una reunión de especialistas que estén en diferentes locaciones (sin límites geográficos), a fin de debatir diferentes situaciones, la única limitante está en los recursos tecnológicos y de telecomunicaciones.
- **Almacenamiento digital de datos o fichas médicas:** Consiste en la implementación del respaldo digital de documentos tales como fichas médicas (documentos clínicos electrónicos CDA HL7), placas radiológicas o exámenes, de manera de agilizar procesos internos y disminuir el espacio físico de almacenamiento de los mismos. Además esto abre posibilidades de obtención de diagnósticos que no sea en tiempo real por medio de correo electrónico, o la publicación de resultados de exámenes vía web para ser consultados por los pacientes.

## 2.7.2 Funcionamiento de un sistema de telemedicina

Un sistema de telemedicina, según su definición, es un sistema complementario para las actividades médicas. En la actualidad, el “medio de apoyo”, son las telecomunicaciones y las ciencias informáticas, ya que lo que hoy en día encontramos en esta naciente área, son sistemas capaces de transmitir audio, video, imágenes y documentos por medio de diversos sistemas de telecomunicaciones.

Un sistema de telemedicina opera básicamente de la siguiente manera: Existe un centro hospitalario menor que presenta una carencia de profesionales en un(as) área(s) específica(s), dicho centro será asistido por uno de mayor envergadura, el cual dispondrá de los especialistas y el tiempo necesario para la atención de los pacientes de manera “remota”, quienes se encontrarán físicamente en la ciudad donde esté el centro de menor tamaño. Esto conlleva beneficios de ahorro de tiempo y dinero para los pacientes y mejora la gestión de los centros de salud más apartados.

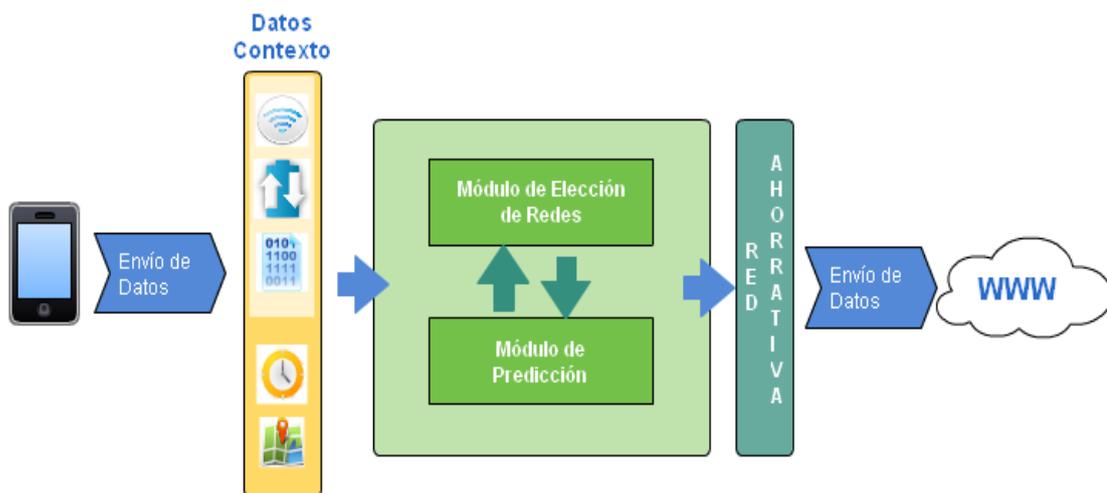
Para que un sistema de estas características funcione bien, se debe contar con los siguientes elementos:

- Equipos capaces de comunicarse (preferiblemente videoconferencia).
- Medio de comunicación (satelital, Internet, etc.).
- Estándares y protocolos de interoperabilidad de información (HL7 y DICOM).
- El hospital o clínica de apoyo que debe gestionar los recursos necesarios (infraestructura, tiempo y especialmente especialistas) para prestar los servicios médicos.

# CAPÍTULO III

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

### 3.1 Visión General de la Solución



**Figura 7. Gráfica de la Solución General**  
**Fuente: Elaboración Propia**

En la Figura 7 se puede observar una visión general de la solución propuesta en este trabajo. La solución se trabajó a nivel de aplicación como un servicio auxiliar para una aplicación central de telemedicina que tiene funciones de envío de datos.

La propuesta se divide básicamente en dos módulos principales: un módulo de elección de la interfaz de red más ahorrativa. Y un segundo módulo de predicción para mejorar la performance de la estrategia.

### a) Módulo de elección de redes

Este módulo es el encargado de obtener cuál de las dos interfaces de red, entre WiFi y 3G, es la que tendrá un menor gasto energético para el envío de datos de acuerdo al contexto de conectividad que se tiene en ese momento.

Este módulo se divide en otros 3 submódulos:

*Obtención de Datos de Contexto:* Obtiene del ambiente y del paquete a enviar en la transferencia de información, el contexto. Unos datos de este contexto, al que a partir de este punto nos referiremos como el contexto de conectividad, será usado para el algoritmo de elección de red. La otra parte del contexto será usado para el aprendizaje del módulo de predicción.

*Elección de Interfaz de Red:* Este submódulo contiene el algoritmo de elección de la interfaz de red más ahorrativa. Esta elección se da de acuerdo a las características que presenta cada una de las redes en el momento dado. Para la elaboración del algoritmo se hizo un análisis de los factores de conectividad que impactan en el consumo energético.

*Activación de Interfaz de Red:* Este módulo ejecuta la elección dada por el submódulo anterior. Es decir activa y conecta la interfaz de red elegida por el algoritmo de elección, y desactiva la otra red.

### b) Módulo de predicción

De acuerdo a una investigación previa[19], si bien se tuvo un ahorro en la batería al usar el algoritmo de elección de red, se vio que se incurría en un gasto energético al tener que activar las dos interfaces para obtener sus datos. De esta manera se ideó este segundo módulo para mejorar este punto débil.

Al estar nuestra solución desarrollada al nivel de aplicación se tiene las limitaciones que da el propio sistema Android. Entre ellas que para poder obtener los datos de conectividad de cada red, esta tenía que estar activa de todas maneras. Sin embargo, había la posibilidad de que se aprenda de las elecciones dadas por el primer módulo

en un contexto determinado. Es así, que si se tiene un contexto en el cual ya se han hecho elecciones de interfaz de red, se pueda aprender de estas elecciones y predecir cuál sería la red con menor gasto energético para este momento, sin necesidad de prender las 2 interfaces, sólo haciendo uso de casos anteriores. Y esa justamente es la función de módulo de predicción.

Este módulo se divide en otros 2 submódulos:

- **Aprendizaje:** En este submódulo se registran las elecciones de red hechas para un determinado contexto, y al cabo de un tiempo de aprendizaje, se obtiene una matriz de transición para cada contexto.
- **Predicción de Interfaz de Red:** Este submódulo se ejecuta siempre que exista una matriz de transición para el contexto. Si no existe una matriz o registro de elecciones anteriores se procede a ejecutar el algoritmo de elección. En caso contrario, y ya se tenga registro de elecciones anteriores se hace uso de la matriz de transición.

En las siguientes secciones se explicará más detalladamente el diseño e implementación de cada módulo. Esta sección explica de manera general el funcionamiento de la solución.

### 3.2 Análisis de Consumo WiFi y 3G

En comparación con las redes cableadas (Ethernet), las redes inalámbricas WiFi y 3G consumen más energía. Tomando como base de consumo mínimo el caso de Ethernet, transmitir por WiFi supone un gasto energético un 11,33% superior, mientras que si usamos la conexión 3G gastaremos un 44% más. Sus costes de transmisión son más elevados debido a que el medio de transmisión es el aire, el cual presenta unas condiciones de atenuación mayores, además de otro tipo de circunstancias como las interferencias o el *multipath*[20]. Sin embargo, los dispositivos no podrían conectarse a Internet sin hacer uso de ellas.

Trabajos y experimentaciones [4][21][22], nos indican además que las conexiones WiFi y 3G, son las mayores consumidoras de energía de la batería; y a la vez nos ofrecen

diversas soluciones para reducir este consumo. Dentro de las soluciones que se proponen una de las maneras más simples de ahorrar energía es utilizar la red más ahorrativa y apagar el resto[23][24][25], de tal manera que la aplicación se encuentre en estados de baja energía tanto como sea posible. Pero, ¿cómo saber cuál es la red más ahorrativa? Hay diferentes aspectos que se tienen que analizar, y que se presentan a continuación.

Aunque se tienda a pensar que el 3G consume mucho más que el WiFi debido por su rango de acción que cubre grandes extensiones o el número de usuarios potenciales[20]. El gasto energético entre WiFi y 3G es parecido, pero cada una tiene sus propias características energéticas en sus diferentes fases de conexión: establecer una conexión, mantener una conexión, transferencia de datos[24][26][27][28]. En[26], se hace un estudio detallado de los gastos energéticos de la conexión WiFi y de la conexión 3G. Hay que tener en cuenta que si la conexión ya se encuentra prendida, ésta no incurre en ningún gasto. En la Tabla 2 se observa este caso en 3G.

	3G	WiFi
<b>Revisar Disponibilidad/Establecer Conexión</b>	0	5J
<b>Mantener una conexión</b>	1-6 J/min	20-60 J/min
<b>Energía por MB Transferidos</b>	Subida: 95-125 J Bajada: 40-50J	Subida: 7-11 J Bajada: 5-7 J

**Tabla 2. Consumo de Energía en cada fase de conexión**

**Fuente: Context-for-wireless: context-sensitive energy-efficient wireless data transfer [26]**

Otro aspecto a tener en cuenta en los gastos de conexión, es el *handoff vertical*, el costo energético de pasar de una red a otra, que también debe ser tomado en cuenta para el cálculo final del costo energético de la red. En [29] se nos indica que el *handoff vertical* de 3G a WiFi consume más energía, que lo que el mismo 3G consume, y recomienda hacerlo cuando el tamaño de los datos sea mayor a 0,12 – 0,9 Mb.

Además también intervienen otros factores para medir el gasto energético de la conexión, que también son estudiados en [26][27][30][6]. Transmitir datos consume más energía que recibirlos [20]. El tamaño de los datos a ser transferidos, nos resulta un factor decisivo, en 3G entre mayor sea el tamaño de los datos, mayor es el consumo que se tiene, por eso los estudios demuestran que es mejor usar WiFi para grandes cantidades de datos. En [31] se nos presentan modelos matemáticos para el cálculo aproximado del gasto energético de acuerdo al tamaño de los datos de la transferencia, estos modelos fueron especialmente diseñados para dispositivos Android y pueden ser vistos en la Tabla 3, que se presenta a continuación.

	Bajada (Download)	Subida (Upload)
WiFi	$y=17.01x-0.93$	$y=17.31x-2.28$
3G	$y=31.74x+2.15$	$y=71.27x-0.03$

**Tabla 3. Funciones de Consumo de energía respecto a la cantidad de datos transferidos**

**Fuente: “Energy consumption in android phones when using wireless communication technologies”[31]**

Junto con el tamaño de datos, también se encuentra el tiempo de transferencia de la señal. Como se vio anteriormente en las fases de conexión, mientras WiFi consume más al mantener una conexión es más ahorrativo en la transferencia de datos, totalmente contrario al 3G, cuando el tamaño de los datos es pequeño este gasto de tiempo de transferencia usualmente es despreciable. También de [31] se nos presenta un modelo matemático respecto al tiempo de transferencia que se presenta en la Tabla 4.

	Bajada (Download)	Subida (Upload)
WiFi	$y=18.09x+0.17$	$y=21.24x-2.68$
3G	$y=20.59x-1.09$	$y=15.31x+2.67$

**Tabla 4. Funciones de Consumo de energía respecto al tiempo de transferencia**

**Fuente: “Energy consumption in android phones when using wireless communication technologies”[31]**

Otro factor es la fuerza de la señal, especialmente en WiFi que tiene una disponibilidad más variada que el 3G, entre más fuerte es la señal menor es el costo energético. Inclusive, conforme la fuerza de la señal va decreciendo el gasto energético aumenta en un porcentaje.

Para comprobar estos consumos de WiFi y 3G se realizó pruebas con un Smartphone Samsung Y Duos con Android 2.3. El Smartphone se mantuvo prendido durante aproximadamente hora y media, en un uso cotidiano. Las mediciones se hicieron usando la aplicación PowerTutor[32], dicha aplicación genera un modelo de consumo energético estimado, su funcionamiento será explicado en el siguiente capítulo.

Aplicación	WiFi	3G
<i>Media Server</i>	43,9 J	<b>17,6 J</b>
<i>Internet</i>	<b>18,1 J</b>	18,3 J
<i>Google Play Store</i>	<b>9,7 J</b>	16,0 J
<i>Google+</i>	<b>4,4 J</b>	18,2 J
<i>Maps</i>	<b>4,3 J</b>	17,7 J
<i>Youtube</i>	<b>3,0 J</b>	19,4 J
<i>Sincronización de Contactos</i>	<b>1,4 J</b>	38,3 J
<i>Noticias &amp; Clima</i>	<b>834,0 mJ</b>	9,2 J
<i>WhatsApp</i>	<b>342,0 mJ</b>	30,4 J

**Tabla 5. Medición de energía en aplicaciones Android**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Como se observa en la Tabla 5 las aplicaciones que transfieren una gran cantidad de datos son más ahorrativas al usar WiFi, a pesar de que sus conexiones se mantienen

conectadas por más tiempo. Y sin embargo hay casos, la aplicación media server, en que a pesar de estar activa durante todo el tiempo de la toma de datos, fue más ahorrativa en 3G, debido a que el tamaño de los datos que se transferían era menor.

En la experimentación no se tomó en cuenta los consumos de *handoff vertical*, ya que para las pruebas se prendía una conexión a la vez.

### 3.3 Diseño e Implementación de la Solución

El diseño de la solución se basó en el análisis presentado en la sección anterior. Además se tomó en cuenta el diseño de una solución anterior [19], desarrollado para el proyecto N° 128-FINCyT-FIDECOM-PIPEI-2012 denominado “Asistencia y monitoreo remoto de pacientes por medio de sensores, dispositivos móviles y central médica virtual”.

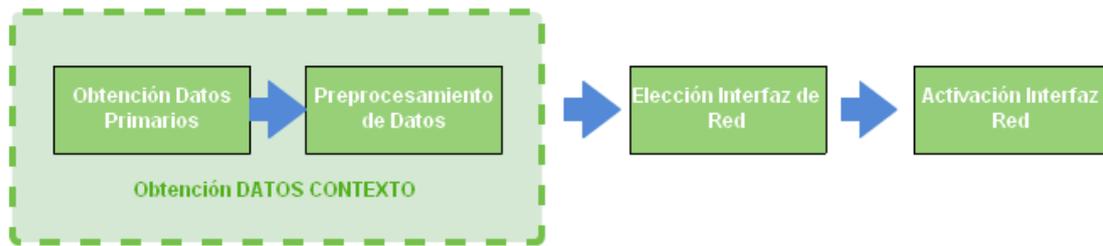
La solución se desarrolló empleando la IDE Eclipse especializada para desarrollo Android, que se puede descargar desde la página oficial de desarrolladores de Android. Esta IDE, llamada Eclipse Android-adt-bundle, ya viene con todas API's y recursos necesarios para el desarrollo de aplicaciones Android. Se hizo uso de su función de “LogCat” para las depuraciones realizadas durante el desarrollo.

#### 3.3.1 Módulo de Elección de Redes

Este módulo se encarga de la elección de la interfaz de red con menor consumo energético para un contexto dado.

Está formado por 3 submódulos principales que interactúan entre sí, como se puede observar en la Figura 8, desde obtener los datos del contexto de conectividad hasta activar la red elegida como la más ahorrativa energéticamente.

Al obtener los datos del contexto a través del API de Android se les realiza un preprocesamiento para que puedan ser usados en los módulos posteriores, además de calcular otras variables derivadas de estos datos primarios.



**Figura 8. Interacción de los submódulos [Módulo Elección de Redes]**  
**Fuente: Elaboración Propia**

### a) Sub Módulo de Obtención de Datos de Contexto

Para la obtención de los datos de contexto se utiliza la API para desarrolladores proveída por el sistema operativo Android, por lo mismo se estuvo limitado por las restricciones del mismo.

#### – Sub Módulo de Obtención de Datos Primarios de Contexto

En este sub módulo se obtienen la mayoría de los datos del contexto que serán usados en los posteriores procesos. A continuación se detalla un listado de los datos que la aplicación considera necesarios para definir el contexto de la aplicación.

- i. **Ubicación:** Este dato hace referencia a la ubicación del usuario al momento de realizar la transferencia de datos y elección de una red, forma parte de la tripleta de un escenario como se verá más adelante. Como la interfaz de GPS es también una de las mayores consumidoras de energía. Se utilizó conjuntamente las *estrategias de ubicación CELL-ID* y *WiFi* de Android para la ubicación que tienen un costo energético menor y pueden llegar a tener una buena precisión dependiendo de la configuración del dispositivo móvil.
- ii. **Día de la semana:** Este dato hace referencia al día de la semana al momento en que el usuario realiza la transferencia de datos y elección de una red, forma parte de la tripleta de un escenario como se verá más adelante. Para este módulo se saca la fecha actual.

- iii. **Espacio de tiempo:** Este dato hace referencia al espacio de tiempo de media hora (por ejemplo: 9:00- 9:30 am) en que el usuario realiza la transferencia de datos y elección de una red, forma parte de la tripleta de un escenario como se verá más adelante. Para este módulo se saca la hora actual.
- iv. **Flag conectado:** Este dato consigna si la red se encontraba conectada al momento de la transferencia. Es un dato de tipo boolean que indica si la red estaba conectada al momento de la obtención de datos. El sistema operativo Android solo permite una de las interfaces conectada a la vez, por lo mismo si una interfaz ya se encuentra conectada automáticamente la otra no lo está.
- v. **Disponibilidad:** Este dato consigna si la red se encuentra disponible para la ubicación, día de la semana y espacio de tiempo dado al momento de la transferencia. Es la posibilidad de poder conectarse a una interfaz de red. Por ejemplo con el WiFi hay ubicaciones en las cuales no hay disponibilidad de un modem ó Access Point para conectarse al WiFi.
- vi. **Velocidad de Conexión:** Este dato consigna la velocidad de conexión de la interfaz de red, es necesaria para el algoritmo de elección. La API para desarrolladores Android ofrece un método para obtener la velocidad de conexión de WiFi. Lo mismo no sucede con 3G, la API no cuenta con este método, pero la API si permite obtener la tecnología 3G a la que se encuentra conectado el dispositivo; entonces de acuerdo a la tecnología a la que el dispositivo se encuentra conectado se le asigna una velocidad. Los valores de las velocidades de acuerdo a las tecnologías se sacaron de [14].
- vii. **Tamaño de la data:** Este dato consigna el tamaño de la data del paquete a transmitirse, es necesaria para el algoritmo de elección. La API para desarrolladores Android no cuenta con un método sizeof (). Sin embargo en la web se puede encontrar códigos de clases auxiliares que implementan esta función para datos de tipo Object, lo cual permite obtener e tamaño en bytes de un objeto de cualquier tipo.

- viii. **Fuerza de la señal:** Este dato consigna la fuerza de la señal de la interfaz de red, es necesaria para el algoritmo de elección. Este dato se puede obtener mediante un método tanto para la interfaz de conexión WiFi como para la interfaz de conexión 3G.

Estos datos conforman el contexto en general de la aplicación. Sin embargo los datos obtenidos son primarios, todavía deben pasar un pre procesamiento para poder ser usados en los siguientes procesos.

Del contexto general se definen 2 contextos más específicos: el contexto de conectividad que reúne los datos de flag conectado, disponibilidad, velocidad, tamaño y fuerza de la señal. Y al que a partir de ahora se definirá como simplemente contexto que contiene los datos de ubicación, día de la semana, espacio de tiempo y red elegida; en sí define un escenario de elección de red en un momento dado.

– **Sub Módulo de Pre procesamiento de Datos de Contexto**

Prepara los datos de contexto para que puedan ser usados en los otros submódulos.

En el caso de los datos que conforman el contexto de conectividad, básicamente se transforman los valores a una unidad común, para poder hacer las comparaciones. Además se agrega dos datos adicionales al contexto de conectividad que derivan de los datos primarios, y se calculan con los modelos matemáticos presentados en [31].

- *Gasto Energético x Tiempo Transferencia:* Para calcular el modelo se necesita el tiempo de transferencia que se obtiene con el tamaño de la data y la velocidad de conexión.
- *Gasto Energético x Tamaño de la Data:* Se calcula con el modelo haciendo uso del dato primario de Tamaño de los Datos.

Para el dato del día de la semana, a partir de la fecha obtenida se saca el día en un formato numérico. Es decir el día de la semana está representado por un número; por ejemplo el lunes es 1 y así sucesivamente.

Para el dato espacio de tiempo, dividimos las horas del día en 48 particiones, cada partición hace referencia a un rango de tiempo de media hora. Al igual que el dato de día de la semana las particiones también responden a un código numérico.

### **b) Sub Módulo de Elección de Interfaz de Redes**

Contiene y ejecuta el algoritmo de elección de la red más ahorrativa para una aplicación, basándose en los factores de la transferencia vistos en el análisis. Este algoritmo se divide en los siguientes criterios:

#### **Criterio 1: ¿Se encuentra conectada?**

La búsqueda y activación de una red conlleva un gasto energético; por eso, el primer aspecto a ser tomado en cuenta; es ver cuál de las 2 redes se encuentra conectada. A la interfaz de red conectada, se le hace una evaluación adicional sobre la fuerza de la señal por ser un aspecto importante en esta interfaz de red.

#### **Criterio 2: ¿Es buena la fuerza de la señal?**

Si la señal de la red se encuentra en un rango de 75% - 100% de fuerza de señal, no hay un mayor gasto energético adicional al total. Entonces se puede proceder a evaluar el tamaño de los datos y el tiempo de transferencia. Si por el contrario la fuerza de la señal es menor a 75%, se procede a adicionar una penalidad en el gasto energético que va de acuerdo con el decremento en la fuerza de la señal.

#### **Criterio 3: Evaluación de Tamaño de Datos**

WiFi ahorra energía mientras el tamaño de los paquetes sea grande. Pero ¿de acuerdo a que cifra empezamos a considerar que el tamaño es grande y es necesario usar WiFi? Una medida obtenida empíricamente por los trabajos de [26] y [29], nos acerca a la cifra aproximada de 150 Kb, que además también concuerda con el

gasto energético de un *handoff* vertical de 3G a WiFi. En la práctica se verifico su validez.

Las penalidades adicionales de la fuerza de la señal, se calcula con las formulas mostradas[31].

#### **Criterio 4: Evaluación de Tiempo de Transferencia.**

Si el tamaño es pequeño inmediatamente se opta por el 3G en caso contrario nos queda una evaluación más: el tiempo de transferencia para los datos de gran volumen. El tiempo de transferencia se puede calcular a partir del tamaño del paquete y la velocidad de cada conexión. Una vez obtenido este tiempo se calcula con el consumo energético de mantener una conexión. Se compara los gastos energéticos, eligiendo el más ahorrativo.

El pseudocódigo de este algoritmo se puede ver a continuación:

```
Procedimiento seleccionarRed( ContextoConectividadWiFi ,  
ContextoConectividad3G )  
  
Si 3GConectado() Entonces  
    Si tamañoPaquete() > 150Kb Entonces  
        Si CostoTmpTrasnfiWiFi() < CostoTmpTrasnfi3G()  
Entonces  
            Apagar3G();  
            PrenderWiFi();  
        Fin Si  
    //Si no se sigue conectado a 3G  
Fin Si  
  
Si no si WifiConectado() Entonces.  
    EvWiFi ← CostoTmpTrasnfiWiFi() + CostoTamPaqWiFi();  
    Ev3G ← CostoTmpTrasnfi3G() + CostoTamPaq3G();  
    Si EvWiFi > Ev3G Entonces  
        ApagarWiFi();  
        Prender3G();
```

```
Fin Si

Si no Entonces
    EvWifi ← CostoTmpTrasnfiWifi() + CostoTamPaqWifi();
    Ev3G ← CostoTmpTrasnfi3G() + CostoTamPaq3G();
    Si EvWifi > Ev3G Entonces
        Prender3G();
    Si no Entonces
        Prenderwifi();
    Fin Si
Fin Si

Fin Procedimiento
```

**Figura 9. Pseudocódigo algoritmo de evaluación.**  
**Fuente: Elaboración Propia**

### c) Sub Módulo Activación Interfaz de Red

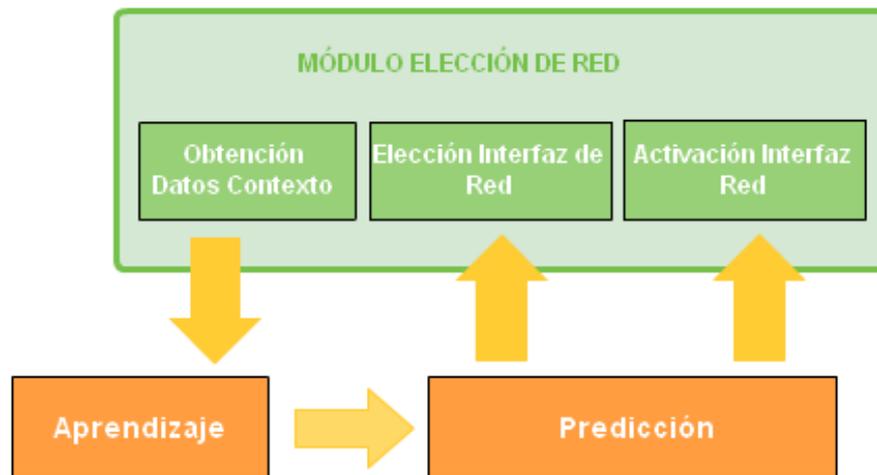
Este módulo es el encargado de la activación y conexión de las interfaces de red. Contiene métodos para prender y apagar las interfaces. Para WiFi se hace uso de los métodos de la clase WiFiManager, para el paquete de datos 3G se hace uso de la clase TelephonyManager junto con otras interfaces.

### 3.3.2 Módulo de Predicción

Este módulo es el encargado de registrar los datos del contexto (escenario) y la interfaz de red elegida para éste por un período de aprendizaje. De tal manera que se genere una matriz de transición para cada contexto que tenga registros; es decir casos de elecciones anteriores. Se usa cadenas de Markov de Orden 1 con matriz de transición estacionaria.

Consta de 2 módulos principalmente: el módulo de aprendizaje y el módulo de Predicción. Primero se tiene que realizar las funciones de aprendizaje y en base a lo aprendido se podrá realizar una predicción. Como se ve en el gráfico, tiene dependencia del módulo de elección de red.

Este módulo fundamenta su viabilidad en que para el caso de estudio que se ve en el trabajo de investigación, aplicaciones de telemedicina, el envío de datos a una central suele hacerse siguiendo una rutina por parte del paciente; como por ejemplo mandar sus mediciones de hipertensión todos los días a un determinada hora, por citar el caso más común.



**Figura 10. Interacción de los submódulos [Módulo Predicción]**

**Fuente: Elaboración Propia**

#### **a) Sub Módulo de Aprendizaje**

En este sub módulo se van registrando los datos de contexto (escenario) para que a partir de ellos se generen las matrices de transición por cada contexto (escenario).

Un escenario es un contexto formado por el día de la semana, el espacio de tiempo y la ubicación. Dentro de este escenario se realizan unos envíos de datos, en los que previamente se eligió la red más ahorrativa para ese escenario de acuerdo al contexto de conectividad que se presentó en ese momento. Este escenario con su respectiva elección de red forman un dato de entrenamiento para una posterior creación de una matriz de transición.

Por lo tanto la primera función de este submódulo es el registro de estos datos de entrenamiento. Cuando se ejecuta el algoritmo de elección de red del módulo anterior se guarda un registro de esta elección.

La recolección de datos de entrenamiento se implementó como registros a una tabla de Aprendizaje usando SQLite, que es la base de datos de Android. Los campos para esta tabla son los siguientes:

- *Día de la semana*: Dato del contexto general que forma parte del escenario.
- *Espacio de Tiempo*: Dato del contexto general que forma parte del escenario.
- *Ubicación*: Dato del contexto general que forma parte del escenario.
- *Elección de Red*: Interfaz de Red elegida para este escenario por el algoritmo de elección.
- *Elección Anterior de Red*: Como se trabaja con cadenas de Markov de Orden 1, es necesario un registro de la elección anterior a la actual para un determinado escenario. Esto se logra ya que antes de registrar el nuevo dato de entrenamiento se debe de obtener el último dato de entrenamiento que si se encuentra registrado, y en donde encontraremos cuál fue la elección anterior. Cuando es un registro nuevo es decir es la primera elección para el escenario dado se toma como interfaz de red anterior a la misma; es decir si la elección es la red WiFi la anterior también será WiFi, para este primer registro.

Este aprendizaje se desarrolla por un tiempo determinado por el usuario, pero como en cualquier aprendizaje entre más datos de entrenamiento mejor. Una vez el usuario indique que ya no desea seguir recolectando datos de entrenamiento. Se procede a la creación de las matrices de transición.

Cada escenario, que se considera a la tripleta día de la semana – espacio en el tiempo - ubicación, tendrá su propia matriz de transición.

La implementación de las matrices de transición también se da como registros a una tabla de una base de datos. Que guarda los siguientes campos:

- *Día de la semana*: Dato del contexto general que forma parte del escenario.
- *Espacio en el Tiempo*: Dato del contexto general que forma parte del escenario.
- *Ubicación*: Dato del contexto general que forma parte del escenario.
- *WW*: Probabilidad de elegir la interfaz de red WiFi cuando la anterior vez se eligió WiFi.

- WG: Probabilidad de elegir la interfaz de red 3G cuando la anterior vez se eligió WiFi.
- GW: Probabilidad de elegir la interfaz de red WiFi cuando la anterior vez se eligió 3G.
- GG: Probabilidad de elegir la interfaz de red 3G cuando la anterior vez se eligió 3G.

Estos últimos 4 datos son las probabilidades que vienen a formar parte de la matriz de transición como se observa en la Figura 10, y que se encuentran ordenadas de manera horizontal.

	WiFi	3G
WiFi	%WW	%WG
3G	%GW	%GG

**Figura 11. Modelo de Matriz de Transición**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Para hallar estas probabilidades se hace un count en la tabla de Aprendizaje de todos los registros que concuerdan con el escenario y con una elección de red y red anterior dadas. Este resultado se divide entre el count del total de registros que concuerdan con el escenario.

#### **b) Sub Módulo de Predicción**

Una vez que ya se cuenta con las matrices de transición para cada escenario, ya no se necesita del submódulo de Aprendizaje, y de ahora en adelante se hará uso del submódulo de predicción.

De tal manera que cuando se intenta hacer un envío de datos se consulta si el escenario cuenta con probabilidades de transición, es decir, si se tuvo un aprendizaje de elección de redes para el escenario; presentándose 2 situaciones:

- *Existe una matriz de probabilidades para el escenario:* En base a esta matriz se predice cuál es la red que se debe elegir de acuerdo a experiencias anteriores. Una vez elegida la red se utiliza el submódulo de activación de interfaz de red, para efectivamente activar la red adecuada.
- *No existe una matriz de probabilidades para el escenario:* Es decir no cuenta con experiencias anteriores, y se trata de un escenario nuevo. En tal caso se tiene que ejecutar el sub módulo de elección de interfaz de red.



# CAPÍTULO IV

## PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Herramienta Medición: PowerTutor

PowerTutor es una aplicación desarrollada por los estudiantes de doctorado de la Universidad de Michigan: Mark Gordon, Lide Zhang y Birjodh Tiwana bajo la dirección de Robert Dick y Zhuoqing Morley Mao en la Universidad de Michigan y Lei Yang de Google. El trabajo fue financiado primariamente por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la administración del profesor Theodore Baker. Ha recibido apoyo de Google y se realizó en colaboración con la Universidad de Michigan y la Universidad Northwestern dentro del proyecto “Emphatic Systems Project”.

Es una aplicación para smartphones Android que muestra la cantidad de energía consumida por los principales componentes del sistema tales como CPU, interfaces de red (WiFi y 3G) y pantalla. La aplicación permite a los desarrolladores de software conocer el impacto de los cambios de diseño en la eficiencia energética. Los usuarios de aplicaciones también pueden usarla para determinar cómo sus acciones afectan la vida de la batería.

PowerTutor utiliza un modelo de consumo de energía construido por mediciones directas durante un tiempo de control de los estados de los dispositivos que administran la energía. Este modelo generalmente proporciona estimaciones del consumo de energía.

Las estimaciones se muestran a través de una pantalla configurable que proporciona el histórico de consumo de energía. También provee a los usuarios la creación de un

archivo de texto que contiene los resultados detallados. Además, se puede utilizar PowerTutor para supervisar el consumo de energía de cualquier aplicación.[32][33]

La aplicación PowerTutor ha sido usada en diversos trabajos de investigación como una herramienta de medición e consumo energético para dispositivos móviles. Por su facilidad de uso y portabilidad. Si bien existen herramientas de medición más precisas como el medidor de energía de MonsoonSolutions que está diseñado especialmente para dispositivos móviles, éste tiene un costo elevado y poca usabilidad para un usuario sin experiencia.



**Figura 12. Pantalla de Visualización de Estimaciones de energía**  
Fuente: <http://powertutor.org/>[33]

## 4.2 Caso de Estudio

El presente trabajo de investigación se enfoca en las aplicaciones de telemedicina. Dichas aplicaciones tienen funciones casi indispensables de envío de datos, esto se debe a que los datos médicos que se tomen o se registren deben ser verificados por un especialista médico y deben ser guardados en una base de datos central.

Para la realización de pruebas se desarrolló una demo de aplicación llamada “TransferDataDemo” de envío de datos médicos. Esta aplicación simula el flujo de datos de una aplicación de telemedicina común, en donde se recogen los datos de algún dispositivo médico para ser guardados al dispositivo móvil y de ahí enviados vía internet a un servidor médico central.



**Figura 13. Flujo de información simulado por la aplicación**  
**Fuente: Elaboración Propia**

La función principal de la aplicación “TransferDataDemo” es enviar datos médicos a un servidor a través de un webservice utilizando el protocolo SOAP para comunicación de datos. Por lo tanto también se creó una demo del lado del servidor que recibía los datos y los guardaba en una base de datos. Los datos médicos son generados dentro de la aplicación, siguiendo el formato de datos que se presenta a continuación:

- Fecha de Envío
- Valor del Dato
- Unidad
- Fecha de Obtención del Dato
- Tipo de Dato
- Sub Tipo de Dato

- Usuario
- ID Dispositivo Médico
- ID Dispositivo Móvil
- Asociación de Dispositivos

Usualmente este tipo de aplicaciones presenta diversos escenarios bajo los cuales funciona, los que más se dan son:

- Uso Personal: Una persona posee sus propios dispositivos y hace uso de ellos para mandar su información personal a la central.
- Dispositivo Compartido: Un dispositivo es compartido por varios usuarios para el control y monitoreo de su salud.
- Visitas Médicas: Personal médico especializado registran el control y monitoreo de los pacientes a los cuales les hacen visitas médicas. Y al acabar su trabajo mandan todo el bloque de datos de los pacientes a la central.

Para simular estos escenarios se trabajó con 3 tamaños de datos: el envío de una medición, el envío de una serie de mediciones y el envío de una imagen (ya que su tamaño es lo suficientemente grande para representar un conjunto de datos). En el caso de medidas simples se generan aleatoriamente, para la imagen se tiene guardada una imagen.

La mecánica de la aplicación “TransferDataDemo” es mandar cada 10 minutos algún dato entre los 3 mencionados en el párrafo anterior al servidor.

### **4.3 Pruebas Iniciales**

Esta sección se refiere a las pruebas realizadas durante el desarrollo de la solución para comprobar su funcionamiento y que efectivamente haya un ahorro con la solución implementada.

El equipo que se usó para estas pruebas es el mismo que se usó para desarrollo. Se trata de un Motorola XT914 Razr D1 con sistema operativo Android 4.1 JellyBean. Y que cuenta con las especificaciones técnicas que se observan en la Tabla 6.

2G	Bandas 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz Tecnología GSM / GPRS / EDGE
3G	Bandas 850 / 1900 / 2100 MHz Tecnología UMTS/ HSDPA / HSUPA
Batería	Duración 5.8 hrs Modelo de Batería HW4X Tiempo de Carga 4 hrs Tipo de Batería Li-Ion de 1785 mAh
Memoria del Teléfono	Capacidad 4 GB Memoria RAM 1 GB
Velocidad del Procesador	1 GHz
Sistema Operativo	Android Versión 4.1 – JellyBean

**Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Equipo de Pruebas**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Como se ve se trata de un smartphone de gama media, con características promedio. Se espera que si la solución funciona de manera correcta en este equipo, tenga un desempeño igual, para los equipos con características similares, o inclusive mejor si se trabaja con equipos de gama alta.

#### **a) Prueba Módulo de Elección de Red**

El objetivo de esta prueba era comprobar que efectivamente al utilizar el módulo de elección de red se diera un porcentaje de ahorro de energía en la batería. Esta comprobación de la efectividad del algoritmo se dio en [19] pero se volvió a hacer las pruebas con las mejoras y cambios a nivel de programación realizados al algoritmo para el presente trabajo.

Para la comprobación se realizaron tres pruebas, una utilizando la solución de ahorro de energía y las otras dos usando las interfaces de redes. Para cada la prueba se cargó la batería del celular al 100% y se activo la función de envío continuo de datos de la aplicación “TransferDataDemo” durante 5 horas. En este lapso de tiempo no se uso el smartphone para otras actividades ni se movió de ubicación.

Para medir los costos energéticos a lo largo de este lapso de tiempo se activó la aplicación PowerTutor y se vieron los decrementos del nivel de batería en el archivo detallado de consumos energéticos que provee PowerTutor.

Se compararon los resultados y se demostró que la estrategia efectivamente escoge la red más ahorrativa. Al hacer uso de WiFi se tuvo un gasto energético de 5358,08 J que equivalen a un 28% de batería gastada y al hacer uso de 3G se tuvo un gasto energético de 6698,6 J que equivalen a un 35%. Mientras que si vemos los gastos de la solución, se ha gastado 4405,04 J que equivalen al 23%. Es decir se consiguió un ahorro energético en comparación con el uso de solamente la interfaz de red WiFi o 3G. Se tuvo un ahorro de aproximadamente 5% en comparación a WiFi y de aproximadamente 13% en comparación a 3G. Esto se debe porque se en cada envío se presentaban diferentes tamaños de datos; es decir cada envío presentaba un contexto de conectividad diferente.

## **b) Prueba Módulo de Aprendizaje**

Si bien el módulo de elección de red tuvo un ahorro de energía, de acuerdo a lo planteado en el diseño al usar datos de aprendizaje, este ahorro se debería incrementar.

Como se trata de una experimentación se usaron datos de entrenamiento de prueba, y de esa manera también evitar el tiempo de aprendizaje que no es el objetivo principal de esta prueba.

Para esta prueba se darán las mismas condiciones que las pruebas anteriores: cargar la batería del celular al 100%, activar la función de envío continuo de datos de la aplicación “TransferDataDemo” durante 8 horas y el uso de PowerTutor. Sólo que esta vez se usará el módulo de predicción.

En esta prueba el gasto energético fue de 4114,6 J es decir aproximadamente un 21% de consumo de batería. En comparación con los resultados obtenidos del módulo de Elección, al aplicar un proceso de aprendizaje se puede obtener un mejor ahorro de energía.

### 4.3 Validación de la Propuesta: Usuarios Expertos

En esta sección se presenta los resultados de la validación de la propuesta presentada a lo largo de este documento, dada por usuario expertos; es decir por personas con experiencia o conocimiento en el área del problema cuyas opiniones y evaluaciones sirven para realizar la validación.

Para validar tanto su perfil como experto y conseguir su evaluación de la solución propuesta se diseñó una encuesta que consiste en dos partes. La primera parte se le pide a la persona autoevaluarse sobre las competencias necesarias para ser considerado un experto. Y en la segunda la persona hace una evaluación de diferentes aspectos de la solución. Esta encuesta fue llenada al finalizar la etapa de pruebas para la que se prestaron.

#### 4.3.1 Perfil de Competencias del Experto

Primero se definió el perfil de competencias que se busca en los usuarios para que se les pueda considerar expertos.

Las competencias que se tomaron en cuenta son

- a) Actitud Crítica – C1
- b) Imparcialidad de Opiniones – C2
- c) Posean conocimientos sobre el funcionamiento del sistema operativo Android. – C3
- d) Posean conocimientos básicos de programación. – C4
- e) Posean conocimientos de redes móviles WiFi y 3G ó paquete de datos. – C5

Además también se establecieron otras condiciones, necesarias para poder llevar a cabo la validación.

- Cuenten con un dispositivo con sistema operativo Android 2.3 o superior.
- Dicho dispositivo debe poder conectarse a las interfaces de red: WiFi y 3G.
- Puedan activar y desactivar las interfaces de red, desde las configuraciones del sistema.

### 4.3.2 Validación del Perfil del Experto

Se va a validar el perfil de cada experto por una autoevaluación que ellos mismo hicieron en la encuesta sobre las competencias del perfil definido en la sección anterior.

Antes de su autoevaluación, se le pidió a cada experto información sobre su campo de trabajo, dicha información puede ser vista en la Tabla 7.

Usuario	Carrera u Oficio	Puesto Laboral	Experiencia (años)
U01	Ing. Telecomunicaciones	Mantenimiento	4
U02	Ing. Sistemas	Analista/Programador	3
U03	Ing. Sistemas	Programador	6
U04	Ing. Electrónico	Servicio Técnico	4
U05	Ing. Industrial	Ingeniero de Planta	10
U06	Ing. Sistemas	Desarrollador Aplicaciones	6
U07	Ing. Sistemas	Analista/Programador	8
U08	Técnico Electrónico	Servicio Técnico	5
U09	Ing. Electrónico	Ingeniero Trainee	3
U010	Ing. Sistemas	Desarrollador Independiente	6

**Tabla 7. Datos Profesionales y Laborales de los Expertos**  
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar el campo laboral de los expertos seleccionados guarda relación con la investigación que se presenta, al pertenecer al área de redes y desarrollo de software. Además de estar apoyados por años de experiencia en el campo.

Usuario	Autoevaluación de Competencias				
	C1	C2	C3	C4	C5
U01	4	5	4	4	5
U02	4	3	5	4	4
U03	5	5	4	5	3
U04	4	3	4	4	4

U05	3	4	4	3	4
U06	4	4	4	5	4
U07	5	4	4	5	3
U08	4	5	5	3	4
U09	4	4	3	5	5
U010	5	4	5	4	4

**Tabla 8. Autoevaluación de Competencias**  
**Fuente: Elaboración Propia**

En la Tabla 8 se muestran los resultados de la autoevaluación aplicada (primera parte de la encuesta) a los expertos sobre sus competencias para validar que encajen dentro del perfil buscado.

Se puede observar en los resultados de la autoevaluación que las competencias de los expertos; si bien no son altas en todas las áreas, viendo las competencias como un conjunto, poseen un nivel aceptable de experiencia para validar el proyecto.

### 4.3.3 Dispositivos utilizados

A continuación se presenta la Tabla 9 con el listado de dispositivos utilizados y sus características más importantes para el presente trabajo como son el modelo y marca del celular, versión del sistema operativo Android, Capacidad de Batería medida en miliamperio-hora y el operador móvil; es decir el proveedor de internet móvil.

Usuario	Modelo Smartphone	Versión S.O. Android	Capacidad Batería (mAh)	Operador móvil
U01	MotoSmart XT914	4.1 JellyBean	1700	Movistar
U02	MotoSmart XT389	2.3 Gingerbread	1390	Movistar
U03	Samsung Galaxy Y	2.3 Gingerbread	1200	Movistar
U04	Samsung Galaxy Y Duos	2.3 Gingerbread	1300	Claro
U05	Airis TM400	4.0.4 Ice CreamSandwich	1700	Movistar
U06	Airis TM520	4.2 JellyBean	2000	Movistar

U07	Samsung Galaxy Y	2.3 Gingerbread	1200	Claro
U08	Samsung Galaxy Ace	2.3 Gingerbread	1350	Claro
U09	Samsung Galaxy S3 mini	4.1 JellyBean	1500	Movistar
U010	Samsung Galaxy S3	4.1 JellyBean	2100	Movistar

**Tabla 9. Listado de Dispositivos Utilizados**  
**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.3.4 Análisis de los Resultados de las Pruebas con Usuarios Expertos

En esta sección explicaremos las pruebas realizadas por los 10 usuarios expertos sobre la propuesta de solución, y también se presenta un cuadro resumen de los resultados obtenidos por cada usuario durante el tiempo de pruebas, mostrando los resultados de gasto de batería sin y con la solución.

Se les instaló en sus dispositivos la aplicación de Medición PowerTutor y la aplicación de pruebas “TransferDataDemo”. Esta etapa de pruebas se divide en 3 partes:

- Día Cero: En esta prueba se les pide a los usuarios cargar su batería al 100%. Y activar la función de envío continuo de datos durante 5 horas bien sea en la mañana o en la tarde, y continuar con sus actividades normales.
- Tiempo de Aprendizaje: Al iniciar esta etapa se les pide a los usuarios activar la estrategia de ahorro de energía, haciendo un check en la opción correspondiente. Y al igual que el día 0 se les pide tener cargado el celular al 100% y activar la función de envío continuo de datos en el mismo horario que el día Cero. Todos los usuarios tienen el mismo tiempo de aprendizaje.
- Día Final: Para evitar a los usuarios tener que hacer más configuraciones, pasado el tiempo de aprendizaje automáticamente se detiene el aprendizaje, se espera un momento mientras se crean las matrices de transición. Y los usuarios deben proceder de la misma manera que los otros días.

Con este procedimiento tenemos información sobre el costo energético del uso de redes sin la solución y después de haberse implementado.

La Tabla 10 muestra la cantidad de energía consumida sin la solución y con ella. Estos resultados son las mediciones hechas por la aplicación PowerTutor. Esta primera tabla de resultados muestra los resultados medidos para el indicador “Nivel de Energía Consumida Por Tiempo de Uso” de nuestra variable dependiente.

Usuario	Día Cero	Día Final
	Energía Consumida J	Energía Consumida J
U01	7982,2	6330,7
U02	2121,2	1811
U03	2922	1588,7
U04	879,5	1420
U05	6055,5	4679,25
U06	6881,3	5780,7
U07	2853	2678
U08	1894	1488
U09	2283	2595
U010	2284	1632,6

**Tabla 10. Resultados Energía Consumida - Pruebas Realizadas con Usuarios**  
**Fuente: Elaboración Propia**

La Tabla 11 muestra el porcentaje de batería gastado sin la solución y con ella. Estos resultados se calcularon a partir de las mediciones anteriores que se hicieron con la aplicación PowerTutor. Esta primera tabla de resultados muestra los resultados medidos para el indicador “Porcentaje de Uso de la Batería Por Tiempo de Uso” de nuestra variable dependiente.

Usuario	Día Cero	Día Final
	% Batería Gastado	% Batería Gastado
U01	29%	23%
U02	34%	28%
U03	28%	19%
U04	13%	21%
U05	22%	17%
U06	25%	21%
U07	26%	24%
U08	28%	22%
U09	22%	25%
U010	26%	19%

**Tabla 11 Resultados % Batería Gastado - Pruebas Realizadas con Usuarios**

**Fuente: Elaboración Propia**

A manera de resumen se presenta la Tabla 12 donde se puede observar las mediciones que se han realizado tanto para el indicador “Nivel de Energía Consumida Por Tiempo de Uso” como para el indicador “Porcentaje de Uso de la Batería Por Tiempo de Uso” de la variable independiente de la investigación, y el objetivo principal de la misma, el Ahorro de Energía de la Batería.

Es a partir de esta tabla donde se puede comparar más claramente los resultados obtenidos en las pruebas donde el usuario no contaba con la solución y seguía su rutina; y ya cuando el usuario usa la solución en su smartphone.

Usuario	Día Cero		Día Final	
	Energía Consumida J	% Batería Gastado	Energía Consumida J	% Batería Gastado
U01	7982,2	29%	6330,7	23%
U02	2121,2	34%	1811	28%
U03	2922	28%	1588,7	19%
U04	879,5	13%	1420	21%
U05	6055,5	22%	4679,25	17%
U06	6881,3	25%	5780,7	21%
U07	2853	26%	2678	24%
U08	1894	28%	1488	22%
U09	2283	22%	2595	25%
U010	2284	26%	1632,6	19%

**Tabla 12. Resultados de Pruebas Realizadas con Usuarios**

**Fuente: Elaboración Propia**

Como se puede apreciar comparando los porcentajes de batería gastada entre el día cero y el día final, se puede observar en cada usuario como se ha dado un ahorro en la batería del smartphone. En el caso del usuario U04 a primera vista pareciera que no fue el caso, pero en una revisión más al detalle se observó que en el día cero la aplicación móvil no envió la cantidad de datos que debió haber enviado en el tiempo, debido a que en algún punto el usuario desactivó la conexión a red; en cambio la estrategia al ser automática siempre va a activar una red disponible. Entonces el porcentaje en el día cero es menor para este usuario porque tuvo una menor cantidad de envíos de datos.

#### 4.3.4.1 Prueba de Hipótesis Estadística

Para una mejor validación se realiza una prueba de hipótesis estadística para medias. A continuación se empezará esta prueba por definir la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

$H_0$ : Usando la solución no se consigue un menor consumo de energía de la batería.  
( $H_1 \geq H_0$ )

$H_1$ : Usando la solución se consigue un menor consumo de energía de la batería. ( $H_1 < H_0$ ).

	Media (X)	Desviación Estándar ( $\sigma$ )
Día Cero (Sin Solución)	3615,57	1993,553
Día Final (Co Solución)	3000,395	1567,163

**Tabla 13. Tabla valores Estadísticos**  
Fuente: Elaboración Propia

Se selecciona como nivel de nivel de significancia ( $\alpha$ ) el valor de 0,005 que es lo convencional en experimentación. Y también calculamos el grado de libertad, que sería 9 (#casos - 1).

A continuación, se determina el valor crítico K de la prueba. Entonces RC=  $\{\bar{X} < K\}$ , denominado región crítica de la prueba, es el intervalo de rechazo de  $H_0$ .

$$\alpha = 0,05 = P[\bar{x} < k/\sigma = 3615,57]$$

$$0,05 = P\left[\frac{\bar{X} - 3615,57}{\sigma/\sqrt{n}} < \frac{k - 3615,57}{1567,163 \sqrt{10}}\right] = P\left[Z < \frac{k - 3615,57}{495,58}\right]$$

De donde resulta:

$$1,645 = \frac{k - 3615,57}{495,58}$$

$$k = 4430,22$$

Por lo tanto,

$$R.C = \{\bar{X} < 4430,22\}$$

La regla de decisión de la prueba es: si  $\bar{X}$  es el valor medio obtenido de la muestra en la cual se usó la solución, se rechazará  $H_0$  si  $\bar{X} < 4430,22$ . Entonces reemplazando, efectivamente  $3000,395 < 4430,22$ . Es decir que aprobamos la  $H_1$  que indica que usando la solución se consigue un menor consumo de energía de batería.

#### 4.3.5 Análisis Resultados de la Evaluación hecha por Expertos

Después de su participación en el período de pruebas se les dio a los usuarios una encuesta para que llenen. Los resultados de la primera parte fueron analizados en la sección 4.3.2 Validación de Perfil del Experto. En la segunda parte de la encuesta se recoge la opinión y evaluación de la solución propuesta en el presente trabajo de tesis. En la Tabla 14 se puede ver las preguntas realizadas a los usuarios y su correspondencia con las variables de la investigación. Es necesario indicar que se les hizo una explicación general del diseño de la solución.

Preguntas		Indicador
P1	En comparación con el consumo de batería dado en el día cero ¿en qué nivel se logró obtener un ahorro en la energía consumida?	Nivel de Energía Consumida por Tiempo de Uso.  Porcentaje de uso de la Batería por Tiempo de Uso.
	Para la solución presentada ¿Cree que se consiguió un buen nivel de ahorro de batería?	Nivel de Energía Consumida por Tiempo de Uso.  Porcentaje de uso de la Batería por Tiempo de Uso.

<b>P3</b>	¿En qué nivel considera que las características evaluadas para la elección de red son correctas?	Nivel de Energía Consumida por Tiempo de Uso.  Porcentaje de uso de la Batería por Tiempo de Uso.
	<b>P4</b>	¿En qué nivel considera que la elección de la interfaz de red adecuada propicia un ahorro de batería?
<b>P5</b>	¿Qué tan regular fue su rutina a lo largo de esta etapa de pruebas?	Pregunta de referencia para el análisis de resultados.

**Tabla 14. Preguntas de la segunda parte de la encuesta realizada a Usuarios Expertos**

**Fuente: Elaboración Propia**

En la Tabla 15 se pueden observar los resultados dados por usuarios expertos de esta segunda parte de la encuesta. Con estos resultados y las observaciones hechas por los usuarios se llegó a ciertas conclusiones de la opinión que tienen los usuarios expertos sobre la solución presentada en el trabajo de investigación.

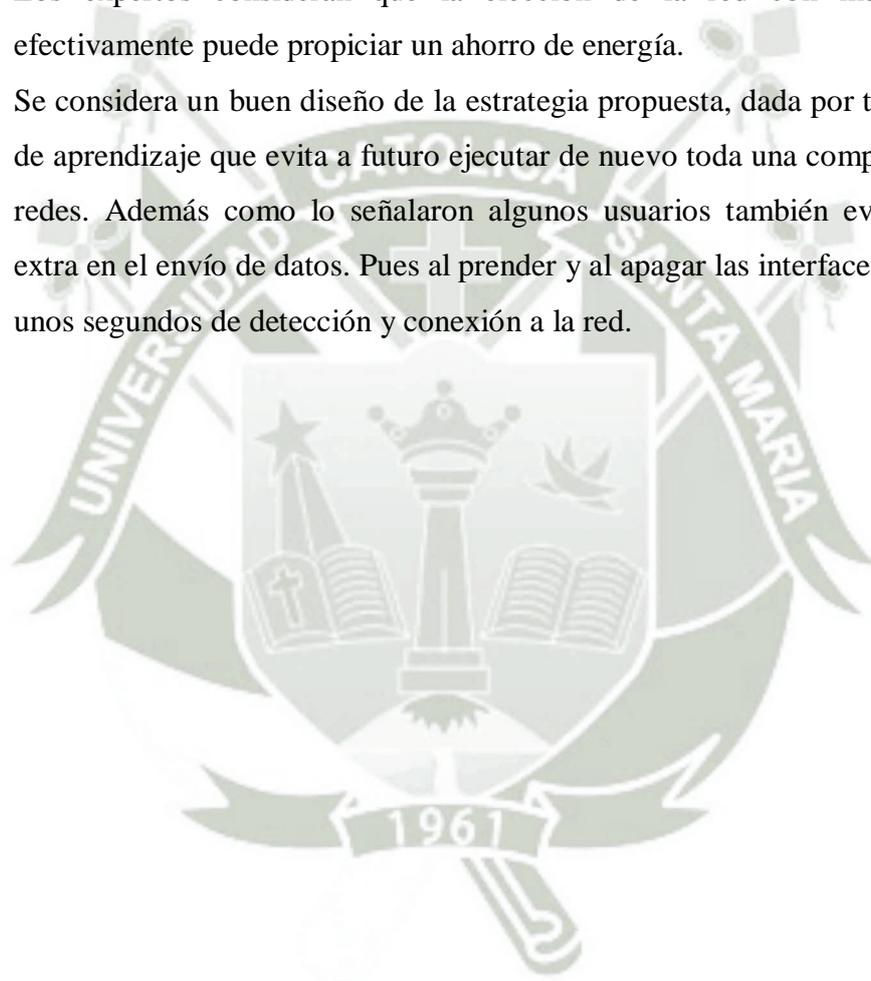
Usuario	Evaluación de la Solución				
	P1	P2	P3	P4	P5
U01	4	3	4	4	4
U02	4	5	4	4	3
U03	3	4	3	3	4
U04	2	2	3	4	2
U05	3	4	4	5	4
U06	4	4	3	4	4
U07	4	5	4	4	3
U08	3	2	4	3	4
U09	3	3	3	4	3
U010	4	4	3	4	4

**Tabla 15. Evaluación de los Expertos**

**Fuente: Elaboración Propia**

A partir de los resultados de la evaluación dada por los expertos, se obtiene que:

- La solución ayudo a reducir el consumo de la batería de su dispositivo, para algunos en más medida que otros. Al parecer también tiene una relación con la rutina que sigue el usuario.
- La mayoría de los expertos considera que las características seleccionadas para el algoritmo son las correctas. Aunque se menciona el añadir la característica de costo monetario que implica el uso de 3G.
- Los expertos consideran que la elección de la red con menor consumo efectivamente puede propiciar un ahorro de energía.
- Se considera un buen diseño de la estrategia propuesta, dada por tener una parte de aprendizaje que evita a futuro ejecutar de nuevo toda una comparación de las redes. Además como lo señalaron algunos usuarios también evita un tiempo extra en el envío de datos. Pues al prender y al apagar las interfaces se incurre en unos segundos de detección y conexión a la red.



# CONCLUSIONES

**Primera:**

Se ha propuesto una estrategia basada en el contexto de conectividad (WiFi y 3G) que efectivamente ahorra la energía de la batería en dispositivos Android, al elegir la interfaz de red con menor consumo energético para el contexto de conectividad al momento del envío de datos.

**Segunda:**

Con el análisis detallado de consumo de energía por el uso de WiFi y 3G se ha podido determinar en qué momentos y bajo qué condiciones, estas interfaces consumen más energía. Y ha servido de base para el diseño del algoritmo de elección de redes.

**Tercera:**

De acuerdo a los antecedentes revisados y las necesidades del caso de estudio, se ha logrado definir un modelo de contexto que satisfaga las necesidades de información del algoritmo de elección de interfaz de red y el módulo de aprendizaje.

**Cuarta:**

Se ha diseñado e implementado la estrategia de elección de redes para el ahorro de energía de la batería en dispositivos Android.

**Quinta:**

Con la implementación de la estrategia y el prototipo de aplicación de telemedicina del caso de estudio, se han realizado pruebas preliminares y mediciones con usuarios expertos que nos han permitido validar el ahorro en el consumo energético de la batería.

# RECOMENDACIONES

**Primera:**

En el desarrollo del proyecto se notaron limitantes en la obtención de datos precisos para el contexto de conectividad, que se dieron por el propio API del sistema operativo Android. Se recomienda la implementación de métodos que estén en contacto con la capa de abstracción de hardware, y que de preferencia no le quiten portabilidad a la solución.

**Segunda:**

Para esta investigación no se tomó en cuenta como factor para elegir una red, el costo monetario que tiene la interfaz de conectividad 3G; debido a que no es un factor que aumenta o disminuye el consumo energético de la interfaz. Sin embargo, el costo si es un factor de decisión importante para los usuarios. Para futuras versiones se recomendaría añadirlo al algoritmo de elección de red.

**Tercera:**

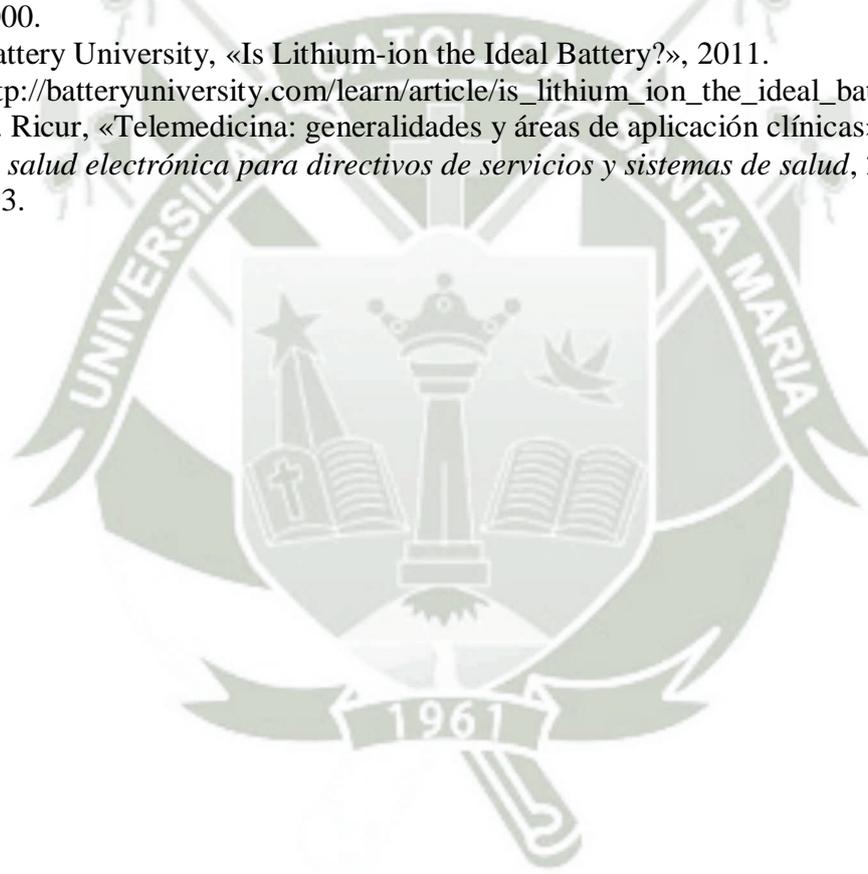
Ante la próxima implementación de la tecnología de red móvil LTE para Perú, se recomendaría realizar un análisis sobre el consumo de esta interfaz de red y el diseño de las mejoras correspondientes a la propuesta de solución, para que la estrategia también tome en cuenta esta interfaz.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Rahmati y L. Zhong, «Context-based network estimation for energy-efficient ubiquitous wireless connectivity», *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 10, n.º 1, pp. 54–66, 2011.
- [2] S. K. Chong, M. M. Gaber, S. Krishnaswamy, y S. W. Loke, «Energy conservation in wireless sensor networks: a rule-based approach», *Knowledge and information systems*, vol. 28, n.º 3, pp. 579–614, 2011.
- [3] I. Zahid, M. A. Ali, y R. Nassr, «Android Smartphone: Battery saving service», en *Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), 2011 International Conference*, 2011, pp. 1–4.
- [4] Y. Wang, J. Lin, M. Annavaram, Q. A. Jacobson, J. Hong, B. Krishnamachari, y N. Sadeh, «A framework of energy efficient mobile sensing for automatic user state recognition», en *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services*, 2009, pp. 179–192.
- [5] K. H. Kim, A. W. Min, D. Gupta, P. Mohapatra, y J. P. Singh, «Improving energy efficiency of wi-fi sensing on smartphones», en *INFOCOM, 2011 Proceedings IEEE*, 2011, pp. 2930–2938.
- [6] N. Balasubramanian, A. Balasubramanian, y A. Venkataramani, «Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications», en *Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM conference on Internet measurement conference*, 2009, pp. 280–293.
- [7] Y. Chon, E. Talipov, H. Shin, y H. Cha, «Mobility prediction-based smartphone energy optimization for everyday location monitoring», en *Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 2011, pp. 82–95.
- [8] A. Seneviratne, J. R. Pedrasa, y U. Rathnayake, «Network availability prediction: Can it be done?», en *Global Information Infrastructure Symposium (GIIS), 2011*, 2011, pp. 1–6.
- [9] «Guía para Desarrolladores Android». <http://developer.android.com/> .2013.
- [10] Patrick Brady, «Android Anatomy and Physiology», presentado en 2008 Google I/O, San Francisco, California, 28-may-2008.
- [11] F. Hoguet, «Network mobility for multi-homed Android mobile devices», Université de Technologie de Compiègne, Compiègne, France, 2012.
- [12] M. Hsu y J. Huang, «Power Management from Linux Kernel to Android», 19-jun-2009.
- [13] F. Maker y Y. –. Chan, «A survey on android vs. linux», *University of California*, pp. 1–10, 2009.
- [14] L. Pacheco, D. Argandoña, R. Espinoza, y J. More, «EVOLUCION DE LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVILES HACIA LA CUARTA GENERACIÓN», Osiptel, Investigación 13, 2012.
- [15] Osiptel, «Cobertura Redes Móviles Perú», 2013. <http://www.osiptel.gob.pe> . .
- [16] A. Schmidt, K. Asante Aidoo, A. Takaluoma, U. Tuomela, K. Van Laerhoven, y W. Van de Velde, «Advanced interaction in context», *Proceedings of First International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, HUC'99 - Karlsruhe, Germany*, pp. 89–101, Setiembre-1999.

- [17]G. D. Abowd, A. K. Dey, P. J. Brown, N. Davies, M. Smith, y P. Steggles, «Towards a better understanding of context and context-awareness», en *Handheld and ubiquitous computing*, 1999, pp. 304–307.
- [18]M. Baldauf, S. Dustdar, y F. Rosenberg, «A survey on context-aware systems», *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 2, n.º 4, pp. 263–277, 2007.
- [19]B. Tamayo Oporto y E. Castro Gutierrez, «Networking Strategy Choice based in data transfer in Android Devices», en *Proceedings International Conference on Information Society*, Toronto, Canada, 2013, p. 4.
- [20]G. De las Nieves Jiménez, «Ahorro energético en la transmisión de datos a sistemas móviles», Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, 2012.
- [21]A. Gupta y P. Mohapatra, «Energy consumption and conservation in wifi based phones: A measurement-based study», en *Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2007. SECON'07. 4th Annual IEEE Communications Society Conference on*, 2007, pp. 122–131.
- [22]J. Sharkey, «Coding for life–battery life, that is», en *Google IO Developer Conference*, 2009.
- [23]T. Pering, Y. Agarwal, R. Gupta, y R. Want, «Coolspots: Reducing the power consumption of wireless mobile devices with multiple radio interfaces», en *Proceedings of the 4th international conference on Mobile systems, applications and services*, 2006, pp. 220–232.
- [24]M. A. Viredaz, L. S. Brakmo, y W. R. Hamburgren, «Energy management on handheld devices», *Queue*, vol. 1, n.º 7, p. 44, 2003.
- [25]S. K. Datta, C. Bonnet, y N. Nikaein, «Android power management: Current and future trends», en *Enabling Technologies for Smartphone and Internet of Things (ETSIoT), 2012 First IEEE Workshop on*, 2012, pp. 48–53.
- [26]A. Rahmati y L. Zhong, «Context-for-wireless: context-sensitive energy-efficient wireless data transfer», en *Proceedings of the 5th international conference on Mobile systems, applications and services*, 2007, pp. 165–178.
- [27]K. Lin, A. Kansal, D. Lymberopoulos, y F. Zhao, «Energy-accuracy aware localization for mobile devices», en *Proceedings of 8th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys' 10)*, 2010.
- [28]A. J. Pyles, Z. Ren, G. Zhou, y X. Liu, «SiFi: exploiting VoIP silence for WiFi energy savings insmart phones», en *Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computing*, 2011, pp. 325–334.
- [29]H. Petander, «Energy-aware network selection using traffic estimation», en *Proceedings of the 1st ACM workshop on Mobile internet through cellular networks*, 2009, pp. 55–60.
- [30]M. R. Ra, J. Paek, A. B. Sharma, R. Govindan, M. H. Krieger, y M. J. Neely, «Energy-delay tradeoffs in smartphone applications», en *Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems, applications, and services*, 2010, pp. 255–270.
- [31]G. Kalic, I. Bojic, y M. Kusek, «Energy consumption in android phones when using wireless communication technologies», en *MIPRO, 2012 Proceedings of the 35th International Convention*, 2012, pp. 754–759.
- [32]L. Zhang, B. Tiwana, Z. Qian, Z. Wang, R. P. Dick, Z. M. Mao, y L. Yang, «Accurate online power estimation and automatic battery behavior based power model generation for smartphones», en *Proceedings of the eighth IEEE/ACM/IFIP*

- international conference on Hardware/software codesign and system synthesis*, 2010, pp. 105–114.
- [33]PowerTutor Project, «A Power Monitor for Android-Based Mobile Platforms», *Power Tutor*, 2011. .
- [34]F. Bellini, «Cadenas de Markov», en *Material didáctico curso Investigacion de Operaciones*, Caracas, Venezuela, 2004, pp. 51-98.
- [35]AMTA, GSMA, y MMF, «Explicación sobre Redes Móviles», *Tecnología Inalámbrica*, 14-ago-2012. .
- [36]J. Gwizdka, «What's in the context», en *Computer Human Interaction*, 2000, vol. 2000.
- [37]L. Han, S. Jyri, J. Ma, y K. Yu, «Research on context-aware mobile computing», en *Advanced Information Networking and Applications-Workshops, 2008. AINAW 2008. 22nd International Conference on*, 2008, pp. 24–30.
- [38]G. Chen y D. Kotz, «A survey of context-aware mobile computing research», Technical Report TR2000-381, Dept. of Computer Science, Dartmouth College, 2000.
- [39]Battery University, «Is Lithium-ion the Ideal Battery?», 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/is\\_lithium\\_ion\\_the\\_ideal\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery).
- [40]G. Ricur, «Telemedicina: generalidades y áreas de aplicación clínicas», en *Manual de salud electrónica para directivos de servicios y sistemas de salud*, 2011, pp. 169-193.



## ANEXO A

# GLOSARIO DE TÉRMINOS

**WakeLocks** es un término del sistema operativo Android que hace referencia a mecanismos que permiten controlar el estado de energía del dispositivo.

**Clock-gatinges** una popular técnica de administración de energía desde el CPU, para reducir dinámicamente la disipación de energía. Añade más lógica al circuito para deshabilitar porciones del circuito, de tal manera que no cambie el estado de los flaps-flops dentro de la porción, ya que si se hace el cambio de estado consume energía.

**Escalamiento voltaje** es una técnica de administración de energía de la arquitectura del computador, donde el voltaje usado en un componente es incrementado o reducido dependiendo de las circunstancias.

**Sleepmode** hace referencia a un modo de bajo consume energético para dispositivos electrónicos como computadoras, smartphones, tablets y otros dispositivos. Estos modos ahorran significativamente la energía en comparación con dejar los dispositivos totalmente prendidos,

**APM** (Advance Power Management) es un API que permita que el BIOS administre la energía, tal como reducir la velocidad de la CPU, apagar el disco duro o apagar el monitor después de un período de inactividad para conservar corriente eléctrica, especialmente para las computadoras portátiles.

**ACPI** es el acrónimo inglés de "Advanced Configuration and Power Interface" (Interfaz Avanzada de Configuración y Energía). Es un estándar resultado de la actualización de APM a nivel de hardware, que controla el funcionamiento del BIOS y proporciona mecanismos avanzados para la gestión y ahorro de la energía en el nivel del sistema operativo.

**Windows Mobile** es el sistema operativo móvil compacto desarrollado por Microsoft, y diseñado para su uso en teléfonos inteligentes (Smartphones) y otros dispositivos móviles. Es el antecesor al actual sistema operativo Windows Phone.

**PDA** (Personal Digital Assistant) es una computadora de mano originalmente diseñada como agenda electrónica (calendario, lista de contactos, bloc de notas y recordatorios) con un sistema de reconocimiento de escritura. Hoy en día estos dispositivos han sido sustituidos por el fenómeno smartphone, teléfonos móviles que pueden realizar muchas de las funciones que hace una computadora de escritorio con la ventaja de ser un objeto del que se dispone constantemente.

**Multipath** es un fenómeno de propagación en las comunicaciones inalámbricas, que se refiere al hecho de que la radio inalámbrica o señales ópticas tienen varias rutas físicas entre el transmisor y el receptor, ya que rebotan en los diversos obstáculos físicos.

**Handoff** también denominado handover o traspaso hace referencia al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones. Este mecanismo garantiza la realización del servicio cuando un móvil se traslada a lo largo de su zona de cobertura.

**Estrategia de ubicación CELL-ID** hace uso de las ubicaciones de las torres celulares dentro de Código de Área de Ubicación (LAC), se basa en el hecho de que un celular está virtualmente siempre conectado a alguna de las torres y siempre registra la información de cada torre a la que se conecta. De esta manera se puede obtener una ubicación algo acertada.

**Estrategia de ubicación WiFi** el dispositivo periódicamente manda información anónima a Google, a menos que no esté configurado de esa manera, entre otros datos manda la última ubicación conocida y la red WiFi a la que se está conectada. Con el histórico de esta información se puede obtener una ubicación aproximada.

# ANEXO B

## ENCUESTA REALIZADA A EXPERTOS

**Carrera u Oficio:** \_\_\_\_\_

**Puesto Laboral:** \_\_\_\_\_

**Experiencia (Años):** \_\_\_\_\_

### Autoevaluación de competencias

Evalúe sus conocimientos y habilidades en las siguientes competencias en una escala del 1 al 5. Siendo 1 el nivel más bajo y 5 el más alto

Competencia	Evaluación (1-5)
1. Actitud Crítica	
2. Imparcialidad de Opiniones	
3. Conocimientos del funcionamiento de Android	
4. Conocimientos básicos de programación	
5. Conocimiento de redes móviles (WiFi y 3G)	

## Evaluación de la Solución

Evalúe la solución propuesta en base a la breve explicación que se le dio de la misma y la etapa de pruebas que realizó. Califique cada uno de estos elementos en una escala del 1 al 5 siendo 1 el nivel más bajo y 5 el más alto.

Preguntas	Evaluación (1-5)
En comparación con el consumo de batería dado en el día cero ¿en qué nivel se logró obtener un ahorro en la energía consumida?	
Para la solución presentada ¿Cree que se consiguió un buen nivel de ahorro de batería?	
¿En qué nivel considera que las características evaluadas para la elección de red son correctas?	
¿En qué nivel considera que la elección de la interfaz de red adecuada propicia un ahorro de batería?	
¿Qué tan regular fue su rutina a lo largo de esta etapa de pruebas?	

**Observaciones:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_