

**Universidad Politécnica de Madrid**  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación



**ESPECIFICACION DE UN SISTEMA DE  
MONITORIZACION MEDIOAMBIENTAL  
PARA EL LAGO TITICACA BASADO EN  
REDES INALAMBRICAS DE SENSORES**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Ana Belinda Bermudez Fernández**

2014



Universidad Politécnica de Madrid  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

**Máster Universitario en  
Ingeniería de Redes y Servicios Telemáticos**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**ESPECIFICACION DE UN SISTEMA DE  
MONITORIZACION MEDIOAMBIENTAL  
PARA EL LAGO TITICACA BASADO EN  
REDES INALAMBRICAS DE SENSORES**

Autor

**Ana Belinda Bermudez Fernández**

Director

**Manuel Álvarez-Campana Fernández-Corredor**

Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos

2014

## Resumen

En este trabajo se aborda la utilización de las redes de sensores inalámbricas en el ámbito de la monitorización medioambiental, así como su aplicación práctica a la recogida y análisis de parámetros de contaminación de las aguas del Lago Titicaca en Perú.

El trabajo parte de una revisión del estado del arte de las tecnologías de redes de sensores, analizando sus principales características y, especialmente, las relacionadas con el empleo de estándares de comunicaciones inalámbricas. Tras ello, se establece el escenario de estudio en torno a la Bahía de Puno del Lago Titicaca, analizando los requisitos a satisfacer en cuanto a los puntos de medida, y las sustancias contaminantes a monitorizar. En base a ello, se determinan los dispositivos sensores a utilizar, así como las soluciones más adecuadas para satisfacer las necesidades de alimentación eléctrica y comunicaciones inalámbricas.

La solución final consiste en una red con cinco puntos de medida instalados sobre otras tantas boyas rígidas, dotadas de un equipo de medición con varios sensores y un módulo de comunicaciones móviles GPRS. La alimentación se basa en el empleo de una placa solar integrada más una batería. Los datos de cada sensor se envían periódicamente vía GPRS a la plataforma de recogida de datos para su posterior análisis.

## Abstract

This study will investigate wireless sensor networks for environmental monitoring by looking into the types of sensors that fulfill the primary criteria that mediate the contaminants substances and their position in the water. In addition, the type of sensor energy and the way that the data save was measured was also selected.

The most adequate communication technology was identified and chosen based on the location and the distance of the measuring sensors. In addition, a study was undertaken to identify if there was mobile service in the zone selected and the type of system, if applicable. The measures taken were established through a revision of the studies done in Lake Titicaca, where the contaminants and the zones with the most contamination were identified. The areas around the edges of the Bahia de Puno were chosen and measured for this study.

Finally, a platform through which the measurement results could be gathered by each one of the sensors was needed. To choose the right platform, the study aimed to find one that converged with the sensor technology. This platform should be capable of managing the storage unit and processing the information.



## Agradecimientos

A Dios.

A mis padres por su apoyo y que a pesar de la distancia siempre estuvieron atentos para saber como iba mi proceso.

A mi tutor, Manuel Alvarez-Campana, por la orientación, comentarios y atinadas correcciones a lo largo de la elaboración de este trabajo.

Y por último, pero no menos importante, a cada una de las personas que me brindaron su ayuda y ánimos.

## Índice general

.....	
1	Introducción ..... 13
1.1	Motivación..... 13
1.2	Objetivos ..... 13
1.3	Estructura de la Memoria..... 14
2	Estado del Arte..... 17
2.1	La redes de sensores inalámbricos..... 17
2.1.1	Características de las redes de sensores inalámbricos ..... 17
2.1.2	Elementos las redes de sensores inalámbricos ..... 18
2.1.3	Tipos de nodos ..... 19
2.1.4	Principios de diseño de las redes inalámbricas ..... 20
2.1.5	Tipos de comunicación Inalámbrica ..... 21
2.2	Aplicaciones de las redes de sensores inalámbricas ..... 23
2.2.1	Aplicaciones en el Hogar ..... 23
2.2.2	Aplicaciones militares ..... 24
2.2.3	Aplicaciones medioambientales ..... 24
2.2.4	Aplicaciones Médicas ..... 25
2.3	Topologías de las redes inalámbricas..... 25
2.3.1	Topología estrella (Star) ..... 26
2.3.2	Topología malla (Mesh) ..... 26
2.3.3	Topología Cluster Tree..... 26
2.4	Estándares de comunicación ..... 27
2.4.1	Bluetooth ..... 27
2.4.2	Sistemas de comunicaciones celulares..... 28
2.4.3	WiFi..... 31

2.4.4	ZigBee .....	32
2.5	Arquitectura de las redes de sensores .....	33
2.5.1	Rango Geográfico de Cobertura .....	33
2.5.2	Arquitectura de Conjunto.....	35
2.6	Protocolos de Encaminamiento en redes de sensores inalámbricas ..	37
3.1.1	Protocolos Encaminamiento Plano.....	37
3.1.2	Protocolos Encaminamiento Jerárquico.....	41
3	Planteamiento del Problema .....	44
3.1	Aspectos Generales del Lago Titicaca .....	44
3.1.1	Generalidades.....	44
3.1.2	Turismo .....	46
3.1.3	Diversidad biológica.....	47
3.1.4	Minería.....	49
3.2	Situación de la contaminación.....	50
3.2.1	Causas fundamentales de la contaminación del lago Titicaca ....	51
3.3	Estudios realizados e instituciones ambientales.....	54
4	Diseño.....	56
4.1	Ubicación de los puntos de medición.....	56
4.2	Elección de la tecnología de comunicación .....	59
4.3	Elección del sensor .....	64
4.3.1	Guardar información.....	65
4.3.2	Energía Solar.....	66
4.4	Plataforma recolección de información.....	67
4.5	Boyas .....	68
4.6	Presupuesto del proyecto.....	69
5	Conclusiones y Recomendaciones .....	71
6	Trabajos Futuros .....	72

## Índice de figuras

Figura 1: Elementos de las redes de sensores.....	18
Figura 2: Estructura del nodo.....	19
Figura 3: Tipos de nodos.....	20
Figura 4: Redes inalámbricas con infraestructuras.....	22
Figura 5: Redes inalámbricas sin infraestructuras.....	22
Figura 6: Aplicación para la automatización del hogar.....	23
Figura 7: Aplicación para la detección de intrusos submarinos.....	24
Figura 8: Aplicación de seguimiento de animales.....	25
Figura 9: Aplicación de monitoreo de pacientes.....	25
Figura 10: Topología Estrella.....	26
Figura 11: Topología de malla.....	26
Figura 12: Topología Cluster Tree.....	27
Figura 13: Tecnología Bluetooth.....	28
Figura 14: Tecnología GPRS.....	29
Figura 15: Evolución de los estándares inalámbricos 3G.....	30
Figura 16: Evolución de la Tecnología 3GPP.....	31
Figura 17: Tecnología WiFi.....	31
Figura 18: Usos de tecnología ZigBee.....	33
Figura 19: Arquitectura Rango Geográfico de Cobertura.....	34
Figura 20: Arquitectura de Conjunto.....	37
Figura 21: Mensaje ADV.....	38
Figura 22: Mensaje REQ.....	38
Figura 23: Mensaje DATA.....	39
Figura 24: Mensaje Intereses.....	40
Figura 25: Mensaje gradientes.....	40
Figura 26: Envío de datos.....	40
Figura 27: Mapa de ubicación del Lago Titicaca.....	45
Figura 28: Islas Flotantes de los Uros.....	47
Figura 29: Embarcaciones de totora.....	48
Figura 30: Peces el mauri y suche.....	49
Figura 31: Minerías informales.....	49
Figura 32: Peces encontrado muertos en el Lago Titicaca.....	51
Figura 33: Contaminación por aguas servidas.....	52
Figura 34: Contaminación por la minería.....	53
Figura 35: Contaminación por petróleo.....	54
Figura 36: Diseño de la red de sensores.....	56
Figura 37: Mapa del Distrito de Puno.....	57

Figura 38: Mapa de ubicación de la Universidad Nacional del Altiplano .....	57
Figura 39: Mapa de los sensores.....	58
Figura 40: Reporte de Cobertura de Operadores.....	60
Figura 41: Operadores de Cobertura. ....	61
Figura 42: Mapa del Cobertura. ....	62
Figura 43: Cobertura en la localidad Isla Esteves. ....	63
Figura 44: Cobertura en la localidad Puno. ....	63
Figura 45: Cobertura en la localidad de Calcota.....	64
Figura 46: Sensor Smart Water. ....	65
Figura 47: External tarjeta SIM.....	66
Figura 48: Panel solar.....	67
Figura 49: Plataforma MeshLium. ....	68
Figura 50: Boya Rígida.....	69

## Índice de tablas

Tabla 1: Uso de sensores inalámbricos.....	23
Tabla 2: Estándares de WiFi.....	32
Tabla 3: Distancias entre los sensores.....	58
Tabla 4: Distancia entre sensor al malecón.....	58
Tabla 5: Características de las distintas comunicaciones.....	59
Tabla 6: Características de ZigBee.....	60
Tabla 7: Presupuesto del proyecto.....	70



## Siglas

AES - Advanced Encryption Standard

CDMA - Code Division Multiple Access

DSS - Direct Sequence Spread Spectrum)-

EDGE - Enhanced Data Rates for GSM Evolution

GPRS - General Packet Radio Service

GPS - Global Positioning Systems

GSM - Group Special Mobile

HSPA - High-Speed Packet Access

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers

LEACH - Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

LTE - Long-Term Evolution

PEGASIS - Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems

SIG - Special Interest Group

SPIN - Sensor Protocols for Information via Negotiation

SPIN - for BroadCast

SPIN-EC - for Energy Conservation

SPIN-PP - for Point to Point

SPIN-RL - for lossy networks

TD-CDMA - Time Division Code Division Multiple Access

TEEN - Threshold-Sensitive Energy Efficient

UIT - Union International Telecommunications

UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

TDMA - Time division multiple access

UIDS - identificador de nodo único

WEP - Wired Equivalent Privacy

WPA - WiFi Protected Access

W-CDMA - Wideband Code Division Multiple Access

3G - Third Generation

# **1 Introducción**

## **1.1 Motivación**

Cada vez las tecnologías de telecomunicaciones tienen mayor aplicabilidad, como en las redes inalámbricas de transmisión de los datos obtenidos por sensores instalados para realizar mediciones ambientales. En este proyecto mostramos como las redes inalámbricas conectadas con los sensores que sirven para medir la contaminación del agua. También de las tecnologías de comunicaciones que pueden controlar y monitorear la contaminación del agua.

Se decidió elegir un proyecto práctico donde demostrar el funcionamiento y utilidad de las redes inalámbricas de sensores y por las razones que se indican a continuación elegimos realizar el sistema de monitorización medioambiental basado en redes inalámbricas de sensores instaladas en la Bahía de Puno en el Lago Titicaca.

La situación de la contaminación del Lago Titicaca ha sido expuesta mundialmente y es preocupante por ser el lago navegable más alto del mundo y tener una reserva de agua dulce en cuyo ecosistema vive una gran variedad de fauna y flora silvestre, también el Lago Titicaca tiene islas flotantes y paisajes hermosos que lo hace un destino muy concurrido por turistas.

La contaminación Lago Titicaca daña la salud de los pobladores de la zona como de los que se alimentan de los animales del lago. También es una fuente de trabajo para los pobladores de la zona.

Hace muchos años se ha visto que la contaminación ha ido aumentando por lo que es necesario la realización del monitoreo y control de la contaminación del Lago Titicaca, por los motivos mencionado anteriormente es la necesidad de la instalación de una red de sensores para la medición de la contaminación de las aguas del Lago Titicaca.

## **1.2 Objetivos**

El objetivo principal es crear un sistema de redes de sensores inalámbricas con el cual se pueda monitorizar los niveles de contaminación del Lago Titicaca.

La consecución de dicho objetivo implica, a su vez la elección de las tecnologías de comunicación adecuadas que posibiliten el envío de los datos de los sensores hasta el punto donde se efectúe su procesado y análisis.

También se tiene que seleccionar los sensores, las boyas para colocar los sensores, el uso de la energía solar que va servir para alimentar a los sensores y guardar información de dichos sensores.

Se tiene que indicar cuales son los puntos de medición del Lago Titicaca donde se colocaran los sensores.

La elección de la plataforma de recolección de la información de todos los sensores de la red.

Conseguir sensores de mediación acuáticos que midan los niveles de la contaminación del lago Titicaca

Finalmente, el objetivo último del proyecto es posibilitar el empleo de la solución propuesta para analizar la situación de la contaminación del Lago Titicaca para determinar los contaminantes que se deben de medir.

### **1.3 Estructura de la Memoria**

Esta memoria se organiza en seis capítulos que están distribuidos de la siguiente forma.

En el Capítulo 1, en el cual nos encontramos, nos brinda una visión general del trabajo.

En el Capítulo 2, se definen conceptos básicos relacionados a las redes de sensores inalámbricas entre los que se encuentran las características y los elementos de las redes inalámbricas, los tipos de nodos y así como se define los principios básicos del diseño de las redes inalámbricas. También una breve definición de las aplicaciones y topologías de las redes inalámbricas, los principales estándares de comunicaciones y arquitectura de las redes de sensores, y por último los protocolos de encaminamiento en las redes de sensores inalámbricas.

Después de las definiciones del estado del arte, el Capítulo 3, nos dedicamos a mencionar los aspectos generales del lago Titicaca y analizar la situación de la contaminación del Lago Titicaca como las causas fundamentales. Se

documentan los estudios realizados de la contaminación y los aspectos de las instituciones ambientales.

Luego de la revisión de las redes de sensores inalámbricos y el planteamiento del problema, el Capítulo 4, con todo lo analizado anteriormente nos dedicamos a realizar el diseño de la ubicación de los puntos de medición y la elección de la tecnología de comunicación como del sensor. También la plataforma de recolección de información y las boyas que van a sostener a los sensores. Y el presupuesto del proyecto.

En el Capítulo 5, se hacen las conclusiones del trabajo realizado y se mencionan las recomendaciones para la realización del proyecto.

Y por último, el Capítulo 7, se mencionan las posibles trabajos futuros a realizar en el ámbito de los sensores de redes inalámbricas.



## 2 Estado del Arte

El campo de las redes de sensores inalámbricas es muy amplio, por lo cual hablaremos en este capítulo de lo más importante en forma precisa y concisa. Los temas que trataremos están las características y elementos de las redes de sensores inalámbricos como también las aplicaciones y topologías de dichas redes, los distintos estándares de comunicaciones y tipos de arquitecturas de las redes de sensores y por último los distintos protocolos de encaminamiento de las redes de sensores inalámbricas.

### 2.1 La redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores es un despliegue de varios dispositivos que disponen de sensores que están instalados en un área en la que realizaran la medición en conjunto, que tienen la capacidad de obtener información de su entorno, almacenar la información, monitorizar eventos y comunicar los datos. Un administrador es el encargado de recolectar toda la información proporcionada por estos dispositivos.

Las redes de sensores inalámbricos están compuestas por varios dispositivos [1], entre los cuales se encuentran los sensores que controlan una o varias condiciones, que pueden ser ubicación (GPS), temperatura, sustancias contaminantes, luz, sonidos, radiación solar, humedad y una larga variedad de parámetros.

Una cualidad que tiene estas redes es que usan nodos que solo se activan cuando se les indica, así tienen un bajo consumo y menor requerimiento de energía, lo cual alarga la vida útil de la batería. Otra es que las redes inalámbricas tienen la ventaja que cuando un nodo falla puede establecer la comunicación por otro nodo.

#### 2.1.1 Características de las redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricos tienen infinidad de características como son su topología, tolerancia a fallos, mantenimiento, energía, entre otros. A continuación sus características principales:

- Su topología es dinámica, la red depende de las condiciones del entorno en que se despliegan.
- Es una red tolerante a fallos, tiene la capacidad de seguir funcionando aunque se tenga error en el sistema.
- Su mantenimiento es en periodo de meses o años.

- Tiene facilidad para poder integrarse a otras tecnologías.
- Facilidad de despliegue, la misma red se puede mover en diferentes ambientes.
- Tiene un bajo consumo energético, se alimenta los sensores con baterías o pequeñas placas solares.
- Los mensajes usualmente son pequeños por lo cual no es necesario la fragmentación de los mismos.
- Los datos de los sensores se guardan en dispositivo y se puede consultar datos en tiempo real como históricos por internet desde cualquier lugar.

### 2.1.2 Elementos las redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricas las constituyen principalmente tres elementos que son el nodo, el recolector de información y el sistema externo, que se detallan a continuación.

- Nodo, dispositivo encargado de recoger los datos, autónomo que está compuesto por: microcontroladores, batería, módulos de comunicación y almacenamiento.
- Recolector de datos, como lo dice recolecta la información de los nodos y transmite la información al sistema externo, puede ser un nodo central.
- Sistema externo, es el centro de acopio de datos y gestión, que envía la información a un servidor donde procesan la información.

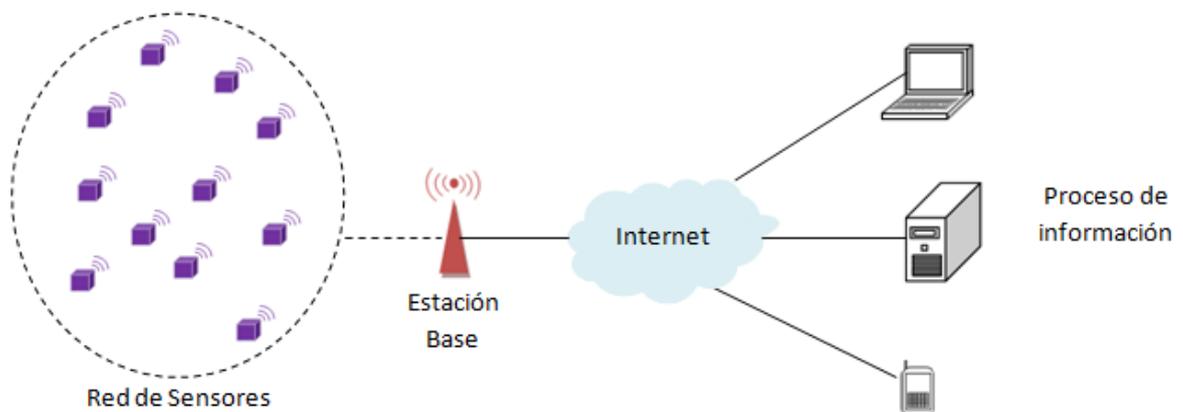


Figura 1: Elementos de las redes de sensores.

Los nodos de las redes inalámbricas cuentan con distintas partes [2]:

Sensor, puede ser uno o varios sensores, encargados de recoger los datos.

Procesador de datos y control, es un procesador que tiene una pequeña memoria para guardar los datos recogidos por cada sensor.

Comunicación inalámbrica, es el medio para transmitir la información de los sensores a otros nodos de la red.

Fuente de energía, la batería o pequeñas placas solares que sirven para alimentar el nodo.

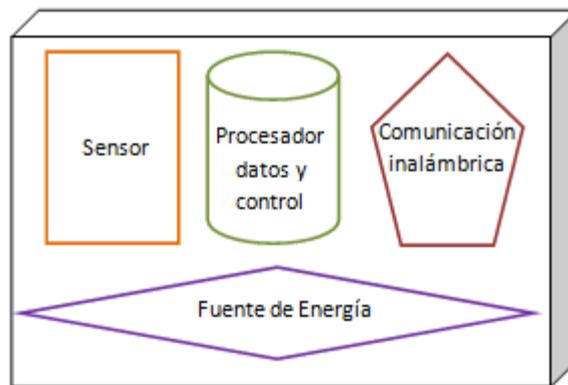


Figura 2: Estructura del nodo.

### 2.1.3 Tipos de nodos

En la red tenemos tres tipos de nodos que son el nodo central, el nodo cluster-head y el nodo sensor. En la figura 3 se detalla mejor los distintos nodos en una red. Los tipos de nodos son [3]:

#### **Nodo central**

Por cada red solo puede existir un nodo central que es el encargado de gestionar las comunicaciones entre todos los dispositivos de la red.

#### **Cluster-head**

Su función es encaminar los mensajes de los nodos hasta el nodo central. Permite que los distintos sensores se conecten a la red y que se puedan conectar a otros routers.

#### **Nodo sensor**

Es el dispositivo que recolecta los datos, su funcionalidad porque no está en proceso de envío de información.

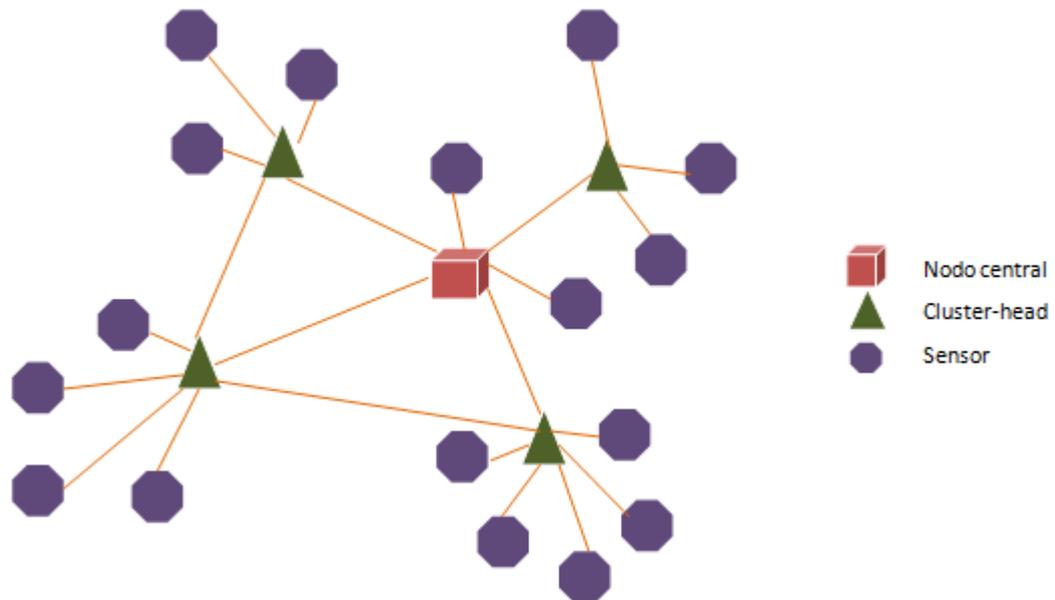


Figura 3: Tipos de nodos.

#### 2.1.4 Principios de diseño de las redes inalámbricas

Al momento de diseñar una red tenemos que tener en cuenta los principios para su construcción, a continuación explicaremos algunos principios del diseño de red [4]:

- **Eficiencia energética**

Los nodos están ubicados en lugares que no son de fácil acceso, por lo cual la batería debe ser duradera porque las posibilidades de cambio son mínimas. Es muy importante que la opción elegida para energía tenga como objetivo prolongar la vida de la red de sensores.

- **Escalabilidad**

Las redes de sensores pueden tener hasta miles de nodos trabajando entre sí, por lo que la red debe estar preparada para interactuar con una gran cantidad de nodos.

- **Autonomía**

En la red de sensores inalámbricos no hay un dispositivo encargado de tomar las decisiones de encaminamiento, por lo cual esta acción puede ser realizada por cualquier nodo de la red.

- **Heterogeneidad**

La red consta de varios sensores los cuales pueden tener distintas características pero deben de trabajar juntos por lo cual la red debe estar proporcionada para el funcionamiento heterogéneo de los dispositivos.

- **Tolerancia a fallas**

Los nodos deben ser capaces de tener rutas alternativas para transferir la información cuando un nodo falla. Los nodos pueden quedarse sin energía o tener un daño causado por el ambiente donde se encuentra.

- **Movilidad**

La red de sensores cuenta con varios sensores que son distribuidos aleatoriamente en la área geográfica de aplicación y pueden requerir que los sensores cambien de posición en la red, por lo cual deben poder moverse sin dificultad.

### **2.1.5 Tipos de comunicación Inalámbrica**

Cuando hablamos de redes inalámbricas nos referimos a las que tienen una infraestructura establecida y las que no, a continuación se explicaran dichas comunicaciones inalámbricas.

#### **Redes inalámbricas con infraestructuras**

Tienen un número fijo de enlaces cableados entre sí, la comunicación es directa (terminal-estación base), solo existe la comunicación dentro del área de cobertura. Ejemplos: redes WiFi, telefonía móvil.

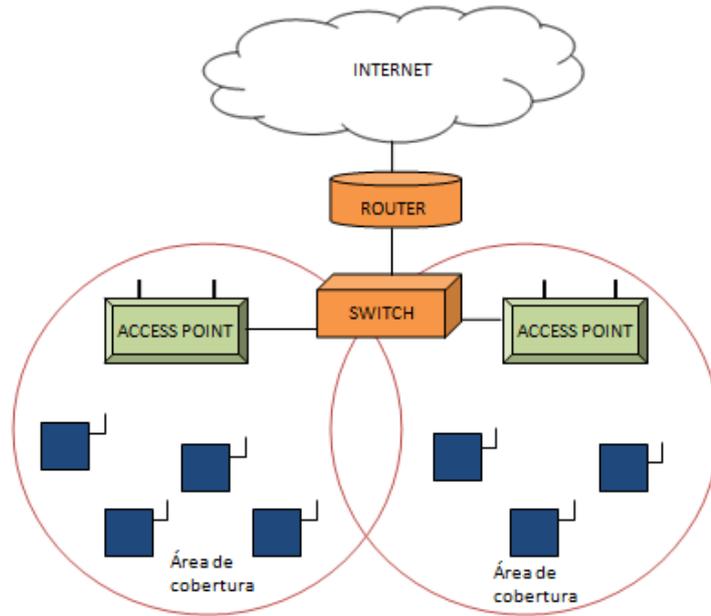


Figura 4: Redes inalámbricas con infraestructuras.

### Redes inalámbricas sin infraestructura (Ad-hoc)

Todos los hosts son móviles, conectados entre sí arbitrariamente y de manera dinámica. Los nodos funcionan como encaminadores (routers), que buscan y mantienen las rutas [5]. La información se recolecta del ambiente, se procesan los datos y los transmiten a la estación base o nodo. También el número de sensores es mayor, los nodos pueden estar o no fijos, los nodos sensores no tienen identificación y son redes con restricción de energía y ancho de banda.

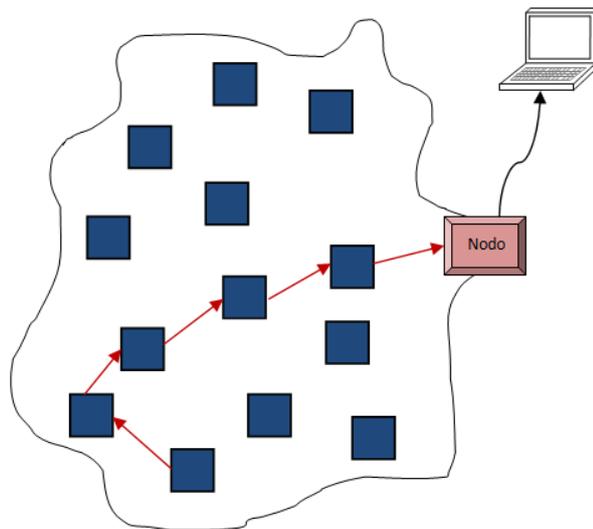


Figura 5: Redes inalámbricas sin infraestructuras.

## 2.2 Aplicaciones de las redes de sensores inalámbricas

Las redes de sensores inalámbricas pueden ser utilizadas en diferentes entornos ofreciendo soporte a diversas aplicaciones. Los sensores pueden medir varias condiciones estas son algunas:

Uso de sensores inalámbricos	
Iluminación	Niveles de ruido
Humedad	Temperatura
Presión	Dirección
Movimiento	Velocidad
Aceleración	Vibración
Angulo	Desplazamiento

Tabla 1: Uso de sensores inalámbricos.

La variedad de aplicaciones es bastante de las cuales estas son las más utilizadas [6]:

### 2.2.1 Aplicaciones en el Hogar

Control de seguridad en todas las instalaciones de la casa, administración de la energía y automatización del hogar. Detección de daños en la infraestructura y alarmas de fugas. Inventario del almacén y aviso cuando faltan productos.

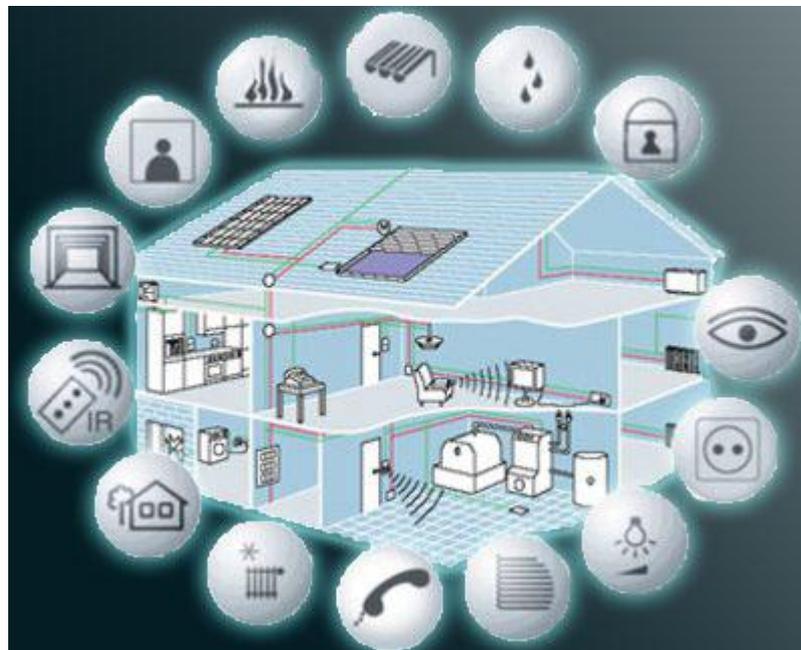


Figura 6: Aplicación para la automatización del hogar.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <http://www.welcomsolutions.com.bo/index3-3.html>

### 2.2.2 Aplicaciones militares

Detección de minas, detección de intrusos en el campo y detección de ataques. Seguimiento de enfrentamientos y exploración de los terrenos. Monitorización de vehículos y equipos en terreno enemigo. Evaluación de daños en el campo de combate y vigilancia de los sistemas de ubicación.

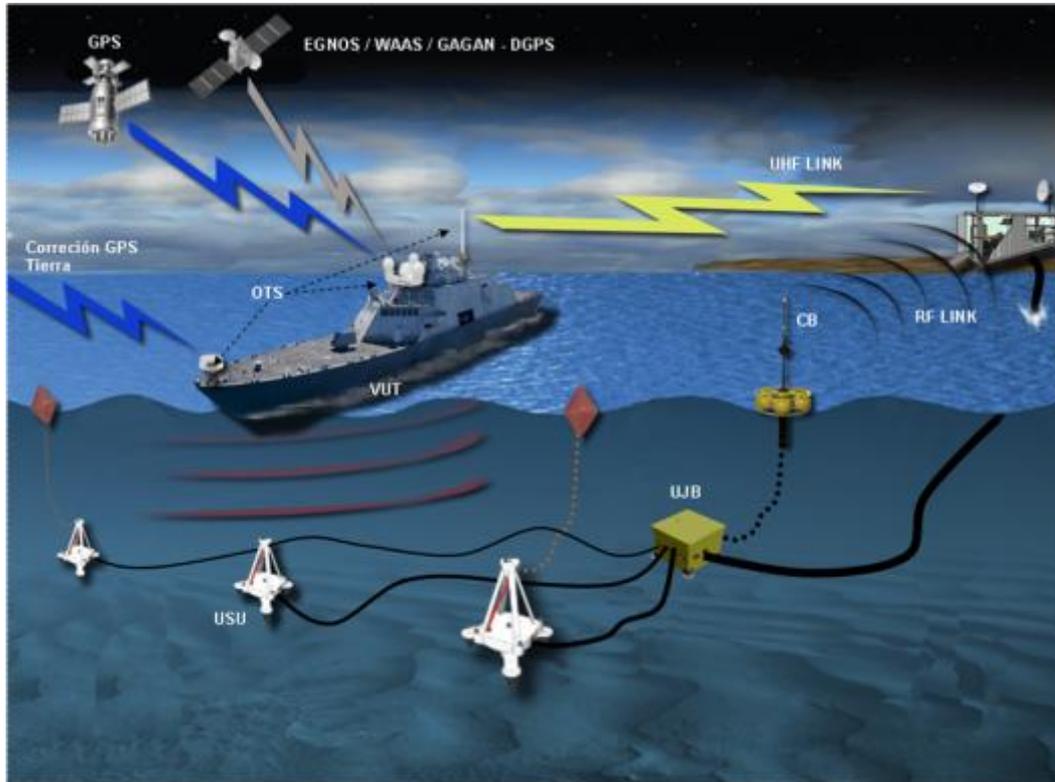


Figura 7: Aplicación para la detección de intrusos submarinos.<sup>2</sup>

### 2.2.3 Aplicaciones medioambientales

Seguimiento de animales en territorios abiertos y monitorización del ambiente. Localización de contaminación y detección de desastres naturales. Reconocimiento del entorno e investigación meteorológica. Sensores de niveles de humedad del suelo, temperatura, etc.

<sup>2</sup> <http://www.electronica-submarina.com/web/wp-content/uploads/2012/05/mirs.png>



Figura 8: Aplicación de seguimiento de animales.<sup>3</sup>

### 2.2.4 Aplicaciones Médicas

Alarmas de emergencias desde donde está el paciente hacia los hospitales y ambulancias. Telemonitoreo de información fisiológica y despliegue de biosensores en pacientes. Control del régimen de medicamentos y ayuda a pacientes con discapacidades.



Figura 9: Aplicación de monitoreo de pacientes.<sup>4</sup>

## 2.3 Topologías de las redes inalámbricas

Al momento de construir una red inalámbrica nos damos cuenta que se tiene tres tipos de topologías de redes inalámbricas que son estrella, malla y cluster tree [7], las cuales explicaremos a continuación:

<sup>3</sup> <http://www.electronicosonline.com/etiqueta/sensores/>

<sup>4</sup> <http://medgadjet.es/2012/06/aprobados-formalmente-los-dispositivos-de-telemedicina-intouch-para-el-monitoreo-de-pacientes-en-los-ee-uu.html>

### 2.3.1 Topología estrella (Star)

En la topología en estrella cada sensor se conecta directamente al nodo central. Todos los datos de los sensores pasan la información primero por el nodo central antes de llegar a su destino.

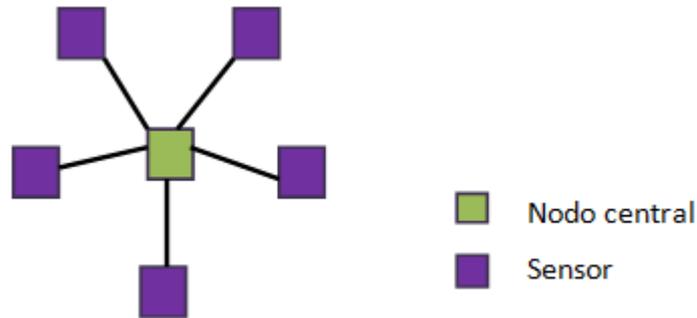


Figura 10: Topología Estrella.

### 2.3.2 Topología malla (Mesh)

Hay dos tipos de topología: malla parcial y malla completa. En la topología de malla completa existen enlaces directos entre todos los sensores de la red. En cambio, en la topología de malla parcial se conecta solo algunos sensores

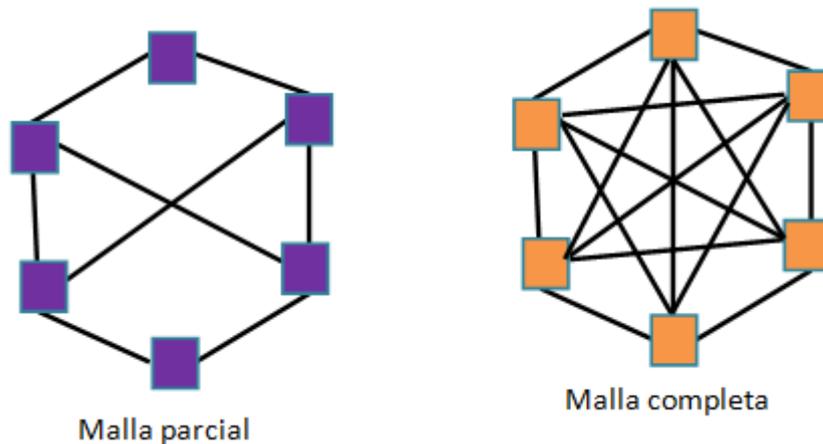


Figura 11: Topología de malla.

### 2.3.3 Topología Cluster Tree

Topología Cluster Tree o Árbol de Conjunto, todos los sensores de cada área de cobertura tienen un cluster-head. El nodo central sirve para comunicar los distintos sensores por medio de los jefes de conjuntos

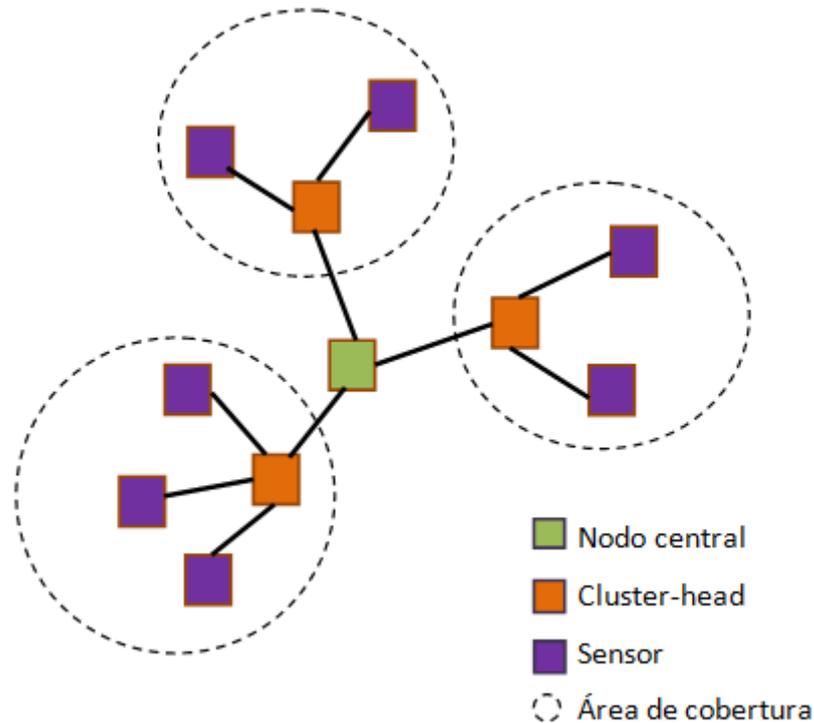


Figura 12: Topología Cluster Tree.

## 2.4 Estándares de comunicación

Para poder comunicar la red inalámbrica de sensores tenemos que saber los estándares de comunicación con los que contamos como son: Bluetooth, los sistemas de comunicación inalámbrica, WiFi, ZigBee, los cuales se explican a continuación.

### 2.4.1 Bluetooth

Se creó para reemplazar los infrarrojos y suprimir las conexiones por cables, está basado en un enlace de radio de bajo costo y corto alcance. Es una red fácil de establecer, la mejor opción para enlaces punto a punto y tiene alta tasa de transferencia de datos. Bluetooth [8] fue desarrollado en 1998 por Bluetooth SIG (Special Interest Group), usa el estándar IEEE 802.15.1 y su velocidad de datos paso de 1 MB/s a 100 MB/s. Tiene un alcance de 10 metros, frecuencia de operación es de 2.4 Ghz y tiene un consumo de energía medio. Para la conexión del dispositivo se requiere hasta 10 segundos y se puede conectar de 2 a 8 dispositivos.



Figura 13: Tecnología Bluetooth.<sup>5</sup>

#### 2.4.2 Sistemas de comunicaciones celulares

Entre los estándares de comunicación están los sistemas de comunicaciones celulares que han ido evolucionando con el tiempo. A continuación explicaremos algunos de los sistemas de comunicaciones celulares como GPRS, 3 G y LTE.

- **GPRS**

General Packet Radio Service (GPRS) o tecnología 2.5 G [9], es una tecnología de transmisión de datos por medio de paquetes. Surge como evolución de las redes GSM (Group Special Mobile) para proporcionar mayor velocidad y mejoras en el acceso móvil a servicios de datos e internet. GPRS tiene una velocidad de transmisión de datos de 40 Kbps a 150 Kbps por comunicación, también permite compartir cada canal por varios usuarios y mejora la eficiencia de los recursos de red. GPRS tiene conexión permanente, el tiempo de establecimiento de conexión es menos de un segundo. El costo es por cantidad de información transmitida y no por conexión. GPRS usa eficientemente el espectro radioeléctrico, comparte las bandas de frecuencia con GSM y permite la conexión con diferentes redes de datos externas.

<sup>5</sup> <http://www.ucel.com.br/comentarios/com129.asp>

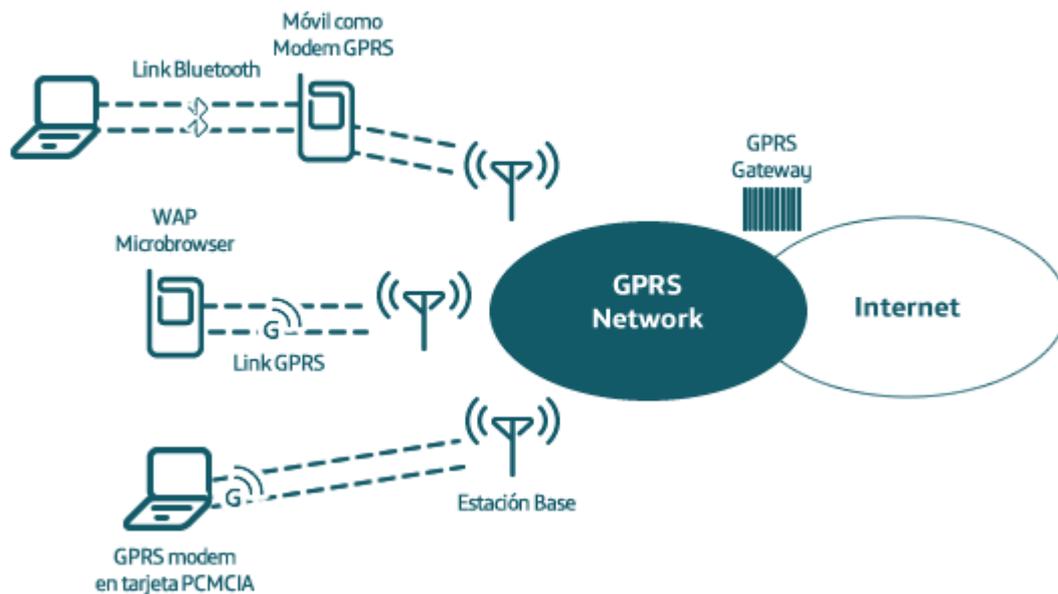


Figura 14: Tecnología GPRS.<sup>6</sup>

- **3G**

3G o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) [10] es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de las normas de Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). UMTS permite velocidades de conexión de hasta 2 Mbps, permite dar soporte de voz y datos en paquetes y las velocidades promedio es de 220 a 320 Kbps. UMTS utiliza una combinación de las tecnologías CDMA y TDMA para el uso eficiente del espectro. Presenta mayor eficiencia espectral para las velocidades de datos superiores a los 100 Kbps. El ancho de banda es bajo demanda y multiplexados de servicios con diferente QoS. Las bandas de frecuencia para UMTS son las siguientes:

1920-1980 y 2110-2170 MHz, para Duplexación por División de Frecuencia (W-CDMA).

1900-1920 y 2010-2025 MHz, para Duplexación por División de Tiempo (TD-CDMA)

1980-2010 y 2200 MHz para enlaces satelitales.

<sup>6</sup> [http://www.telefonica.com.sv/Empresas/svas\\_gprs.html](http://www.telefonica.com.sv/Empresas/svas_gprs.html)

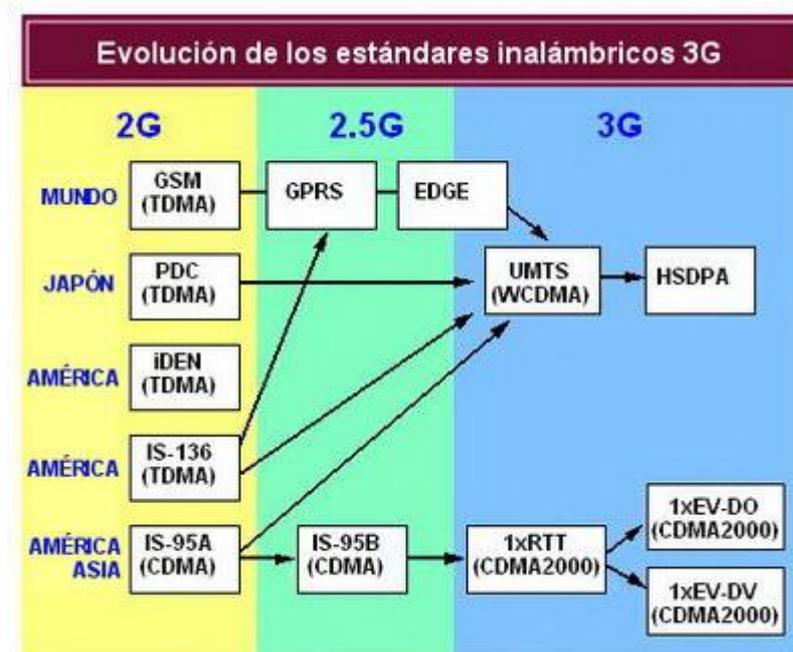


Figura 15: Evolución de los estándares inalámbricos 3G.<sup>7</sup>

- **LTE**

Long Term Evolution (LTE) es una tecnología de plataforma de radio que permitirá a los operadores lograr rendimientos máximos incluso mayores que HSPA + en el ancho de banda de espectro superior [11]. Se empezó a trabajar en LTE desde el 2004 y su despliegue se inicio a finales del 2009, el estándar desarrollado por 3GPP. LTE se basa en las redes GSM y EDGE y usa tecnologías UMTS y HSPA de la red.

LTE es una tecnología de red móvil que está siendo desplegada por los operadores móviles tanto en el GSM y los caminos de la tecnología CDMA [12]. LTE ofrece velocidades de datos muy rápidas en enlace descendente hasta 100 Mbps y ascendente hasta 50 Mbps. También brinda alto nivel de eficiencia espectral y baja latencia. LTE es compatible entre 1,4 MHz A 20 MHz de ancho de banda del canal de espectro. Así mismo proporciona un alto nivel de rendimiento y de capacidad de la red.

El objetivo fundamental de LTE es proporcionar tecnología de acceso por radio de alto rendimiento y congenia con HSPA y las redes anteriores. Los operadores pueden migrar fácilmente sus redes debido al ancho de banda escalable.

<sup>7</sup>[http://www.tecnologiahechapalabra.com/comunicaciones/movil\\_inalambrico\\_satelital/articulo.asp?i=1865](http://www.tecnologiahechapalabra.com/comunicaciones/movil_inalambrico_satelital/articulo.asp?i=1865)

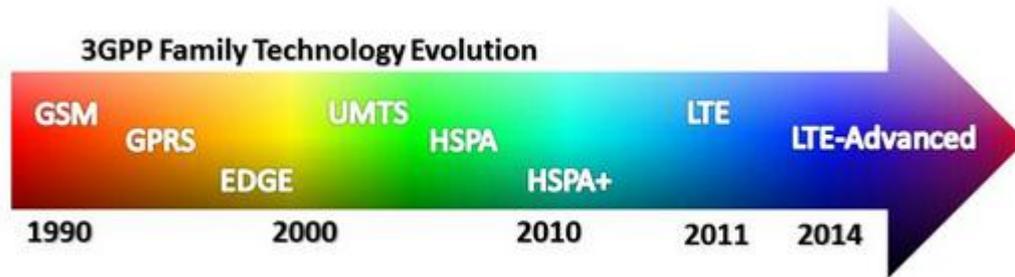


Figura 16: Evolución de la Tecnología 3GPP.<sup>8</sup>

### 2.4.3 WiFi

Es el estándar más conocido de todos, es un reemplazo del cable Ethernet y su proceso de certificación es tomada por WiFi Alliance, un grupo independiente constituido por varias empresas electrónicas y comunicaciones. WiFi [13] salió como una alternativa para facilitar el trabajo de las máquinas de cajero en el año 1985, la comunidad para estandarización fue establecido en el año 1990 y se puso en marcha la serie en el año 1997.



Figura 17: Tecnología WiFi.<sup>9</sup>

Se ha estandarizado bajo el estándar IEEE 802.11, tiene variantes de la "a", "b", "g", "n" y etc. Las velocidad máxima de transferencia de datos para la norma 802.11b es 11 Mbps y para 802.11c tiene 54 Mbps. Opera en la frecuencia común de 2,4 GHz y la 5 GHz menos utilizadas, aunque recientemente está trabajando en la frecuencia de 60 GHz. WiFi tiene un rango entre 30 a 100 metros y un ancho de banda de 0.3, 0.6 o 2 MHz. Respecto al consumo de energía tiene un consumo alto y

<sup>8</sup> <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=243>

<sup>9</sup> <http://johana-johanamarcano.blogspot.com.es/2011/05/un-poco-sobre-tecnologias-inalambricas.html>

necesitan buena batería de reserva si se quiere utilizar durante más de 10 horas. El tamaño de la red puede ser hasta 2007 nodos y para la seguridad e increpación de red se utiliza protocolos WEP, WPA y WPA2.

Estándar	Velocidad Máxima	Banda de Frecuencia
802.11	1-2 Mbps	2.4 GHz
802.11a	54 Mbps	5 GHz
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz
802.11n	mas 100 Mbps	2.4 - 5 GHz

Tabla 2: Estándares de WiFi.<sup>10</sup>

#### 2.4.4 ZigBee

El protocolo de comunicación inalámbrica esta bajo el estándar IEEE 802.15.4, fue creado en 1999 y fue lanzado en el 2004, fue lanzado por ZigBee Alliance [13]. ZigBee opera en las bandas de frecuencias libres de los rangos 800-900 MHz y 2.4 GHz, tiene una frecuencia específica de 868 MHz para los países europeos. ZigBee cuenta con un ancho de banda de canal de 1 MHz y tiene un alcance entre 10 y 100 metros. ZigBee su velocidad de transferencia de datos es de solo 250 Kbps y usa modulación de espectro expandido DSS (Direct Sequence Spread Spectrum). El consumo de energía es mínimo, y dispositivos alimentados con dos pilas AA puede aguantar hasta 2 años sin el cambio de baterías. ZigBee para la seguridad utiliza la encriptación AES de 128 bits, que permite la autenticación y encriptación en las comunicaciones. ZigBee está dirigido a aplicación de bajo niveles de transferencia de datos y bajo consumo energético, fue diseñado para el intercambio y es más frecuente en las redes de sensores inalámbricos. ZigBee permite el envío de datos, normalmente información de sensores, a través de redes malladas con multisalto, lo que permite cubrir áreas extensas por lo que usan el reenvío de paquetes por parte de los nodos repetidores y con enlaces redundantes, si una ruta no funciona, se envía automáticamente la información por otro camino, lo que hace de ZigBee una red robusta apta para su aplicación en entornos críticos.

<sup>10</sup> <http://www.adrformacion.com/cursos/wifi/leccion1/tutorial3.html>



Figura 18: Usos de tecnología ZigBee.<sup>11</sup>

ZigBee puede tener hasta nodos, se puede agrupar hasta 255 clusters que puede llegar a tener 64770 nodos. Tiene varios usos de topologías de red como estrella, malla o grupo de árboles.

Hay tres tipos de dispositivos [14]:

- Coordinador, solo puede existir uno por red e inicia la formación de la red.
- Router, se asocia con el coordinador de la red o con otro router, puede actuar como coordinador y es el encargado del enrutamiento de saltos múltiples de los mensajes.
- Dispositivo final, es el componente básico de la red y no se encarga del enrutamiento.

## 2.5 Arquitectura de las redes de sensores

La arquitectura de la red de sensores se ve influenciado por distintos factores como la escalabilidad, consumos de energía y tolerancia a fallas.

Existen dos categorías para el diseño de la arquitectura en la red: rango geográfico de cobertura y arquitectura de conjunto [15].

### 2.5.1 Rango Geográfico de Cobertura

La arquitectura por rango geográfico de cobertura, consta de una red de sensores dispersados aleatoriamente, se tiene un área geográfica donde se abarca la cobertura y el nodo central es el encargado de buscar todos los sensores que se encuentren en el área geográfica.

<sup>11</sup> <http://webdelcire.com/wordpress/archives/1714>

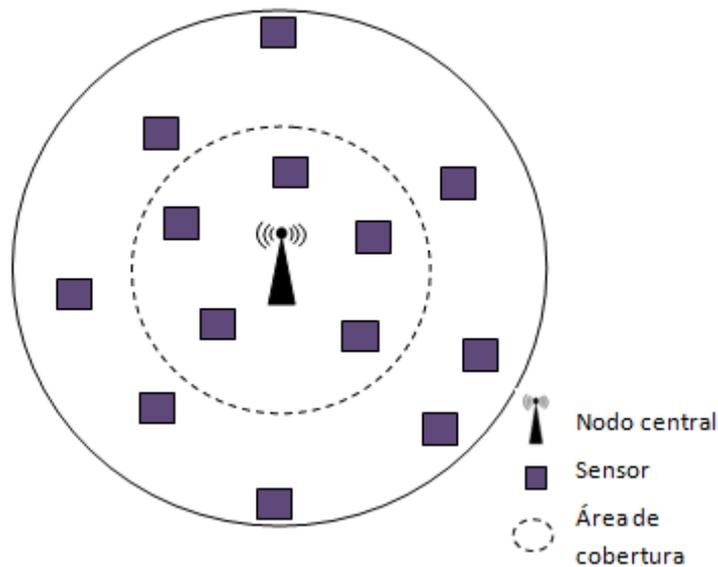


Figura 19: Arquitectura Rango Geográfico de Cobertura.

En la figura 19 se muestra el nodo central que realiza una búsqueda de sensores en el área de cobertura, donde encuentra cinco sensores, tienen que realizar la búsqueda en toda el área, no se puede dejar ningún campo sin mapear. Después el rango de área de cobertura se amplía y realiza una nueva búsqueda en donde mapea toda la nueva área de cobertura, donde encuentra ocho sensores.

### **Protocolos de arquitectura rango geográfico de cobertura**

La arquitectura rango geográfico de cobertura tiene tres protocolos, el primero de inicio y mantenimiento de la red, el segundo de control de acceso al medio y por último el enrutamiento de información.

#### **Protocolo de inicio y mantenimiento de la red**

El nodo central tiene la capacidad de radio difusión con lo cual el protocolo al encontrar todos los sensores los agrupa en diferentes rangos de cobertura. Para poder alcanzar todos los sensores el nodo central lo realiza por medio del canal de control.

El proceso consiste en que el nodo central usando el método de acceso al medio que utiliza codificación de la información en el Acceso Múltiple División Código (CDMA) en el canal común, se encarga de radio difundir su ID (Identificación) a todos los sensores. Cuando todos los sensores escuchan el canal, guardan la información del nodo central y responden con su identificación con nivel de baja potencia. El nodo central al recibir sus identificaciones ya sabe que sensores pueden escuchar, porque ya conocen el código para descriptar la información, esto

sucede en primer rango de cobertura. Después el nodo central envía un paquete de control con los ID's de los sensores de primer rango y los nodos que lo escuchan responden con una señal de control. Y ahora los nodos del primer rango pueden guardar los ID's de otros sensores, que forman el segundo rango de cobertura, y así sucesivamente se va buscando mas sensores creando los distintos rangos de cobertura hasta que toda el área se ha buscado.

Se va actualizando la información de los sensores y de los rangos de cobertura, por los cambios que puedan existir.

### **Protocolo de control de acceso al medio**

Las funciones que realiza son de asignar canal de recepción para los sensores y dividir por ranuras de tiempo el canal de recepción entre los sensores vecinos.

El nodo central asigna un canal de recepción a cada sensor y el canal es re-usado para evitar colisiones. Para la transmisión de los sensores se usa el Acceso Múltiple División de Tiempo (TDMA), esto permite el ahorro de energía cada vez que los sensores se encuentran apagados ya que no envía ni recibe información y permite que la transmisión se realice libre de colisiones.

### **Protocolo de enrutamiento de información**

El protocolo de enrutamiento es el encargado de intercambiar la información, encontrado el camino más confiable para ir al destino teniendo en cuenta la energía requerida, el tiempo de vida del enlace inalámbrico y la distancia. También cuando la conexión falla se busca la información, reparar los enlaces caídos usando el mínimo ancho de banda y potencia de procesamiento.

La arquitectura de rangos de cobertura permiten que la información vaya de sensor en sensor hasta llegar al nodo centra. Se elige el sensor que transmite conforme a su nivel de energía con el propósito de alargar el tiempo de vida de la red.

### **2.5.2 Arquitectura de Conjunto**

La arquitectura de conjunto se trata de poder agregar información al momento que pasa de nodo en nodo. Tiene que haber alguien encargado de recolectar la información y enviar a un sensor específico y es el cluster-head, la información recolectada depende de lo que requiera dicho nodo.

Esta arquitectura se basa en una organización de los sensores creando conjuntos de nodos, que tenga un encargado que es cluster-head. Para poder indicar quien el cluster-head, la red debe de cumplir dos cosas ser autónoma y auto-organizada distribuida. Hay varios tipos de protocolos a nivel de red que se utiliza como LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy).

Cada conjunto de nodos tiene su respectivo cluster-head, con el cual intercambian la información. Los nodos para conectarse hacia la red inalámbrica usan al cluster-head como un punto de acceso.

La arquitectura de conjunto admite el re-uso de tiempo o frecuencia en el multiplexado utilizarlo por diferentes conjuntos dentro de la misma red. También se puede construir estructuras jerárquicas y habilita el uso del ancho de banda, energía y espectro de frecuencia. Así mismo identifica los nodos de mal funcionamiento también participan los jefes de conjunto y monitorea la red dentro del rango.

Los nodos a veces tienen las mismas características y un rango de comunicación común. Por lo cual, se cuenta con protocolos que se basan en configurar un identificador de nodo único (UIDS) que contienen las identificaciones asignadas para la inicialización de nodos.

Esta arquitectura aparte de contar con los nodos y jefes de conjunto también está los gateways. Los gateways son los encargados de enviar el tráfico de un conjunto a otro, esto sucede cuando los nodos se comunican con dos o más jefes de conjunto.

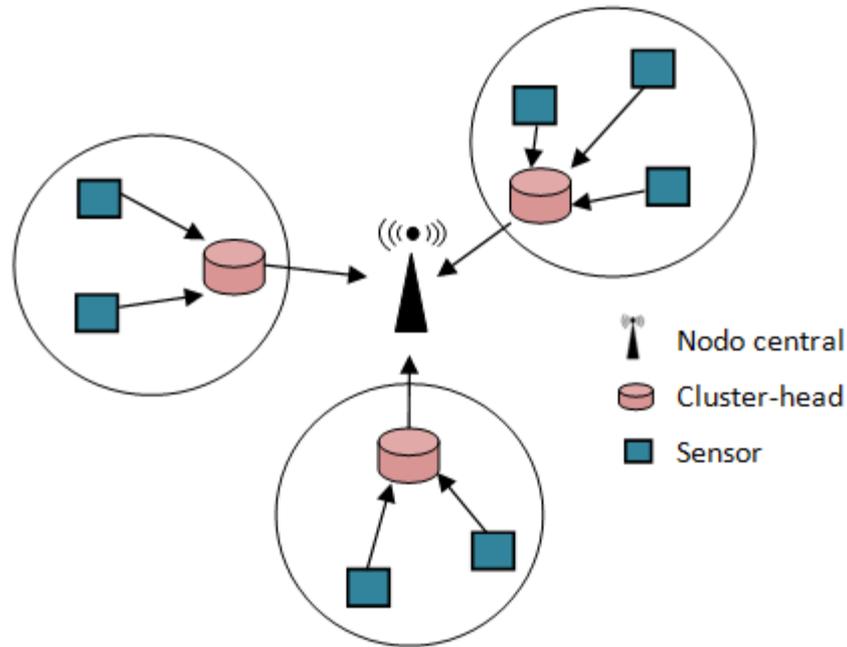


Figura 20: Arquitectura de Conjunto.

## 2.6 Protocolos de Encaminamiento en redes de sensores inalámbricas

Los protocolos de encaminamiento tienen el objetivo de establecer la ruta para el envío de la información desde el origen al destino. A continuación explicaremos los protocolos de encaminamiento plano y encaminamiento jerárquicos.

### 3.1.1 Protocolos Encaminamiento Plano

Los protocolos de encaminamiento plano se caracterizan porque todos los nodos cumplen las mismas tareas en la red. Explicaremos dos tipos de encaminamiento plano que son: el protocolo basado en negociación SPIN y el protocolo centrado en datos Directed Diffusion.

#### 2.6.1.1 SPIN

Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) es un protocolo de sensores basado en la negociación y ahorro de energía. Envía la información que solicita el sensor en vez de enviar toda la información que recolecta. Es muy utilizado en aplicaciones donde la información viene en mensajes muy largos.

En SPIN los nodos no cumplen una función específica, sino que cualquiera pueda cumplir cada función cuando lo requiera. Los nodos indican el nombre de metadatos a los datos recopilados y negocian los metadatos antes de enviar la información. Esto garantiza que no estén viajando en la red los mismos datos

enviados. También SPIN controla la energía de cada nodo y utiliza el protocolo para minimizar el gasto energético.

Ventajas de SPIN es que cada nodo solo necesita conocer a sus nodos vecinos por lo cual se identifica los cambios en la topología de red. También evita los datos redundantes en la red y proporciona un ahorro significativo de la energía.

Desventaja es que no garantiza la entrega de los datos, cuando un nodo requiere tal información y se encuentra lejos de la fuente, los nodos intermedios no tienen interés por lo cual no será entregada la información.

SPIN se comunica utilizando 3 tipos de mensajes:

ADV; el nodo tiene un dato, envía un mensaje de advertencia. En la Figura 20 el nodo anuncia que dispone de nuevos datos.

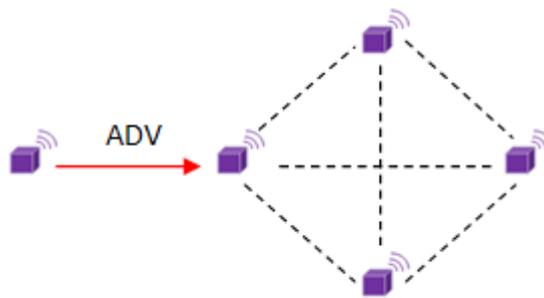


Figura 21: Mensaje ADV.

REQ; el nodo que desea recibir información envían un mensaje de solicitud. En la Figura 21 el nodo solicita la transmisión de la información nueva.

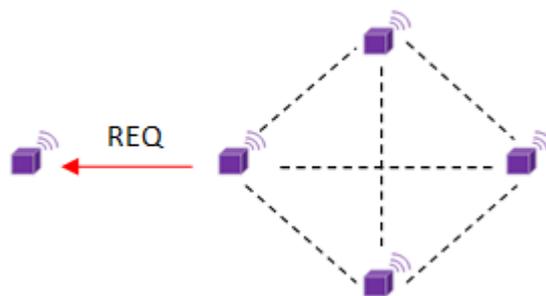


Figura 22: Mensaje REQ.

DATA; el nodo origen envía mensajes con el nuevo dato a todos los interesados. En la Figura 22 el nodo envía la información solicitada, encabezada por el metadato.

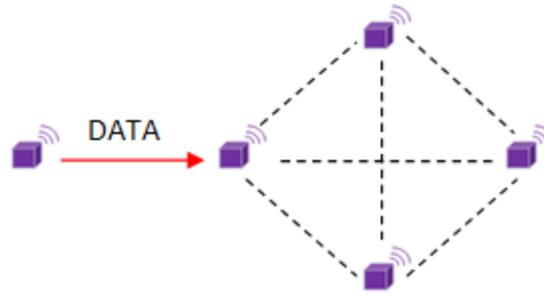


Figura 23: Mensaje DATA.

Tipos de protocolos SPIN

Se diseñó la variedad de protocolo SPIN para mejorar las deficiencias producidas en la negociación.

SPIN-PP, está diseñado para comunicación punto a punto.

SPIN-EC, es similar a SPIN-PP pero con reglas adicionales que reducen el consumo de energía.

SPIN-BC, está diseñado para redes broadcast.

SPIN-RL, es similar al SPIN-BC pero con funciones que agregan mayor fiabilidad en la entrega de datos.

### 2.6.1.2 Directed Diffusion

Directed Diffusion o Difusión Directa es un protocolo centrado en los datos y se compone de varios elementos. Los datos se nombran utilizando pares atributo-valor [16] que son creados por los nodos. La función de este protocolo es tener los datos centralizados eliminando la redundancia, ahorro de energía y prolongar el tiempo de vida.

A diferencia de SPIN, en la Difusión Directa puede suceder saturación en los nodos al realizar la petición de datos y también no es necesario mantener una topología en la red.

En Difusión Directa la estación base envía un mensaje de interés que va transmitiendo cada nodo a sus vecinos, se transmite por la red salto a salto. Los nodos que reciben los intereses preparan la gradiente para responder la solicitud de los nodos de interés a la estación base. Cuando los intereses y gradientes se juntan, se empieza a buscar la mejor ruta para enviar los datos. Así se evita la saturación y también se ahorra la energía seleccionando las rutas de forma práctica. Examinando

y procesando los datos en la red se aumenta la eficiencia, escalabilidad y robustez de la coordinación de los datos entre los nodos.

Elementos de Difusión Directa [17]:

- Mensaje Interés; se envía desde la estación base. Los intereses describen la tarea a realizar por la red.

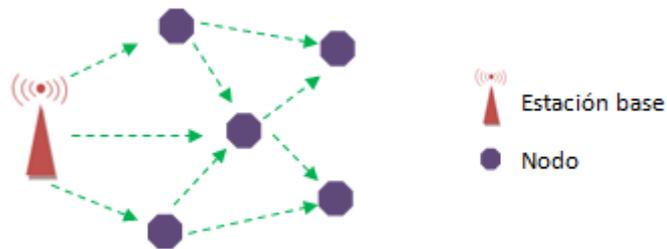


Figura 24: Mensaje Intereses.

- Gradiente; se configuran para escribir los datos que responderán a las peticiones de los nodos.

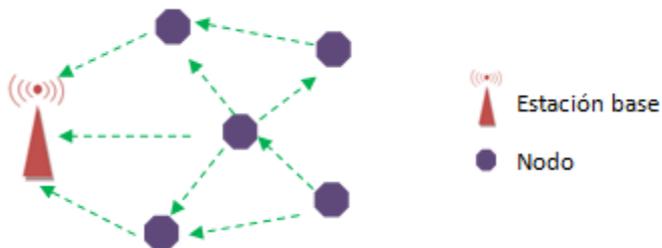


Figura 25: Mensaje gradientes.

- Envío de datos; es el encargado de encontrar la mejor forma de transmitir la información solicitada al origen de la petición.

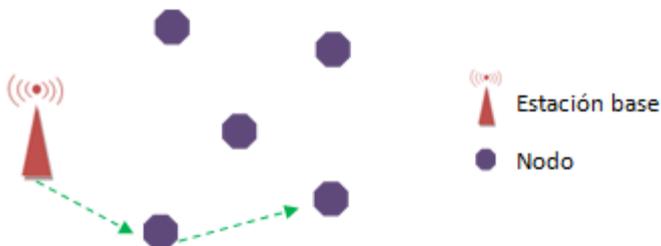


Figura 26: Envío de datos.

Algunas de las ventajas de este protocolo es que no necesita direccionamiento, no necesita mantener la topología global de la red, cada nodo agrega datos y busca información, y opera bajo a demanda así ahorra energía.

Difusión Directa no puede es utilizada en aplicaciones que requieran envío continuo de datos. Otro problema es en el proceso de búsqueda en tablas porque cauda sobrecarga en los sensores.

### **3.1.2 Protocolos Encaminamiento Jerárquico**

Los protocolos jerárquicos se usan para redes de sensores inalámbricos, creando conjuntos y subconjuntos de nodos. Los nodos con menos energía son los que recolectan los datos y los nodos con más energía son los que procesan y envían la información.

#### **2.6.2.1 LEACH**

El protocolo Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH), es un protocolo basado en la arquitectura de conjunto. LEACH selecciona el cluster-head de manera aleatoria, el cluster-head permite distribuir la energía de manera más equitativa a todos los sensores de la red. La elección del cluster-head es de forma periódica para mejor distribución de la energía, se denomina ronda a cada elección del cluster-head. En cada conjunto el cluster-head es el encargado de coordinar la transmisión y fusión de los datos para comprimir la información que será transmitida la estación base para reducir la cantidad de información a enviar.

El protocolo LEACH utiliza técnicas TDMA/CDMA MAC para reducir las colisiones entre y dentro de los conjuntos [18]. La forma de recolectar los datos es centralizada y de forma periódica. Este protocolo no siempre es monitoreado constantemente, sino cuando el usuario lo requiere.

LEACH fue desarrollado para abarcar cientos o miles de nodos económicos y eficientes en energía. Cada nodo es homogéneo y están restringidos a la duración de la batería.

El funcionamiento de LEACH se divide en dos fases: fase de configuración y fase de estado estacionario. La fase configuración es donde se organiza los conjuntos y se elige a los jefes de conjunto. La fase de estado estacionario es el encargado de transferir los datos a la estación base.

### **2.6.2.2 TEEN**

El protocolo Threshold-Sensitive Energy Efficient Protocols (TEEN) está basado en conjuntos y es jerárquico. Fue desarrollado para aplicaciones donde el tiempo es crítico. En este protocolo la transmisión de mensajes consume más energía que la detección de datos [19], por lo que el consumo de energía en este sistema es menor. La transmisión de los datos recolectados por los nodos no son frecuentes, pero los nodos obtienen los datos constantemente.

El cluster-head es encargado de enviar a sus nodos un umbral fuerte que indica el rango establecido por el sensor, esto permite solo transmitir cuando se encuentra en el rango indicado, así se disminuye el número de transmisiones. También se envía un umbral débil con un valor pequeño que indica cuando debe encender su transmisor y transmitir, este umbral evita enviar transmisiones de los nodos cuando no hay cambio o el cambio es pequeño, así se reduce mas la cantidad de transmisiones.

El problema de este protocolo es cuando los sensores no reciben los valores de los umbrales, la red no va enviar información. Y también es la complejidad del sistema para establecer las funciones de los umbrales.

La diferencia con el protocolo LEACH, es que TEEN utiliza los umbrales para definir cuando los sensores envían la información, en cambio LEACH el jefe del conjunto reúne la información de los sensores.

### **2.6.2.3 PEGASIS**

El protocolo Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS) tiene dos objetivos principales [20]: incrementar el tiempo de vida de cada nodo y reducir el ancho de banda consumido.

PEGASIS reduce la energía, distribuyendo igualmente la energía para todos los sensores y usando solo la energía necesaria para la transmisión de los sensores de la red. En este protocolo los sensores solo pueden comunicarse con sus vecinos de la misma región y solo usan la estación base por turnos; con esto se reduce el ancho de banda.

Este protocolo transmite la información en cadena que van haciendo los sensores. Los sensores utilizan la intensidad de la señal para localizar a los vecinos que están más cerca. Cada sensor solo puede ser captado por un sensor, así van formado el camino hasta la estación base para enviar la información.

PEGASIS es una mejora del protocolo LEACH, es capaz de incrementar la vida de la red el doble de tiempo que LEACH. Utiliza la técnica agregación de datos para disminuir las transmisiones y recepciones de información.

El problema de PEGASIS es el retardo que se produce cuando los sensores están lejos al momento de crear la cadena de transmisión. También se puede producir tráfico cuando llega varia información hacia el nodo central.

### **3 Planteamiento del Problema**

En este capítulo detallaremos el problema de la contaminación del Lago Titicaca, en el cual trataremos los aspectos generales, la situación de la contaminación y por último los estudios realizados de contaminación y las instituciones ambientales que protegen en Lago Titicaca.

#### **3.1 Aspectos Generales del Lago Titicaca**

A continuación nos centraremos en los aspectos generales del Lago Titicaca como son: características del territorio, como influye el turismo, variedad biológica que contiene y como interviene la minería.

##### **3.1.1 Generalidades**

El Lago Titicaca está ubicado en los Andes Centrales entre los países de Perú y Bolivia, tiene una altitud de 3803.3 msnm y ocupa una superficie de 8176 km<sup>2</sup>. Se encuentra en la zona altiplánica, la región de Puno ubicada en el Perú cuenta con alrededor de 4700 km<sup>2</sup> de su superficie. El lago tiene una temperatura que oscila entre los 0 ° C y los 13 ° C.

El lago Titicaca es el lago navegable más alto del mundo con una profundidad máxima hasta 281 m, consta también de un lago pequeño que tienen un área de 1292 km<sup>2</sup> con una profundidad máxima de 45 m y la bahía de Puno tiene una superficie de 564 km<sup>2</sup> que tiene una profundidad máxima de 30 m.

El área de la cuenca del lago Titicaca mide 57708 km<sup>2</sup> de los cuales 8167 km<sup>2</sup> pertenecen al lago con una superficie que alcanza aproximadamente los 125 km de ancho y una extensión de 400 km de largo, está dividido en 5 zonas corespondientes a las cuencas de los: ríos Ramis, Huancané, Coata, Ilave y Suches.

El 31 de Octubre de 1978 fue creado Decreto Supremo N° 185-78-AA del Perú indicando área natural protegida la Reserva Nacional de Titicaca [21], y su principal objetivo es conservar la flora y fauna silvestre del lago y apoyar al desarrollo socio-económico de las poblaciones humanas que habitan en las inmediaciones del lago [22].

La superficie del lago es muy variada, formada por una parte acuática y otra continental, la acuática está constituida una gran cantidad de agua con zonas profundas, sub-litorales y litorales; y la continental está formada por las islas, penínsulas y playas.

El lago llama la atención mundialmente no solo por su importancia arqueológica y antropología, sino sobre todo por su fauna acuática única en el mundo, prestando últimamente mucha importancia la contaminación del agua y el problema de administración de los recursos acuáticos que perjudican seriamente a los habitantes.



Figura 27: Mapa de ubicación del Lago Titicaca.<sup>12</sup>

El Lago Titicaca tiene dos zonas muy importantes que son [22]:

- **Bahía de Puno**

La Bahía de Puno tiene una constitución que es encerrada y con poco flujo de corriente, lo cual lo vuelve dispuesto a serios problemas de contaminación. También su poca profundidad de 30m y los desagües que se vierten de las ciudades de Puno y Juliaca se drenan directamente a la bahía de Puno, esto es lo

<sup>12</sup> [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lago\\_titicaca\\_001.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lago_titicaca_001.png)

que provoca la mayor contaminación. Esta es una de las zonas con mayor contaminación dentro del Lago Titicaca.

- **Reserva Nacional del Lago Titicaca**

Cuenta con una reserva acuática de 36120 hectáreas de superficie, de las cuales 24000 hectáreas se encuentran ubicadas dentro de la bahía de Puno y el resto de hectáreas en el sector del río Ramis. La reserva nacional del Lago Titicaca está sufriendo varios desgastes debido a varias circunstancias como: disminución de la fauna y flora, por la caza sin control, la recolección de huevos, sobreexplotación de la totora y su consiguiente disminución del valor turístico; pero una de las causas más importantes es la contaminación del agua.

### **3.1.2 Turismo**

La ciudad de Puno es la cuarta región más visitada del Perú, la causa la tiene sus atractivos turísticos que son muy requeridos por personas de todo el mundo. Entre los cuales destaca el lago Titicaca y sus islas flotantes donde habitan Los Uros, complejos arqueológicos, museos, templos, paisajes, cañones, cataratas, parques nacionales y otras. También cuenta con variedad de fiestas donde la más importante es la festividad de la Virgen de la Calendaría.

La mayoría de los lugares turísticos que existen en la ciudad de Puno están en el Lago Titicaca y sus alrededores. La gran variedad de fauna y flora lo hace tan natural y único; también es una zona de reserva nacional.

Los últimos años estas zonas se han visto amenazadas por la contaminación y esto está aumentando. Esto indica un peligro para la vida humana, poniendo en riesgo a los habitantes del lago y sus alrededores así como a los turistas que visitan esta zona, también para el ecosistema y su variedad de flora y fauna.



Figura 28: Islas Flotantes de los Uros.<sup>13</sup>

### 3.1.3 Diversidad biológica

El lago Titicaca es uno de los más grandes lagos montañosos y tiene una variedad importante de fauna y flora. Esta cantidad de especies no son solo muy admiradas por los turistas, sino que es una forma de sustento para los pobladores como el trabajo de la pesca.

En el lago Titicaca se puede encontrar una gran variedad de flora que consta de 188 variedades de hierbas, y el resto son 8 variedades de arbustos, 21 de sub-arbustos y 3 son de árboles. Entre los cuales se encuentran la totora y el Ichu, los cuales se encuentran al inicio de la cadena alimenticia, que sirven de alimentación para los ganados que se encuentran en las zonas costeras del lago. La totora también es una herramienta de trabajo para los pobladores es una forma de alimentación, construcción de casas, balsas, techos, embarcaciones y materia prima para artesanías.

---

<sup>13</sup> <http://www.panoramio.com/photo/59066887>



Figura 29: Embarcaciones de totora.<sup>14</sup>

En la fauna se encuentra una variedad de 67 de aves, 15 de peces, 11 de mamíferos, 7 de reptiles y 5 de anfibios. Entre los peces se encuentran el pejerrey, trucha y salmón; también hay especies nativas como el mauri, suche, boga e ispi. Entre las principales aves tenemos el pato rana, pato sutro, tiutuco y polla de agua.

La contaminación del agua está provocando mortandades periódicas de peces en la bahía interior, hay épocas en que no se ven estos animales en el lago.



---

<sup>14</sup> <http://www.go2peru.com/spa/contacto.htm>

### 3.1.4 Minería

La región de Puno cuenta con varias minerías formales como informales, la economía depende mucho de la explotación de minerales; muchos pobladores dependen de la minería como ingreso familiar. La región cuenta con reservas de plata, cobre y estaño.

La minería en la región de Puno posee recursos metálicos y no metálicos. Hay una variedad extensa de productos metálicos entre los más importantes son de origen de los yacimientos auríferos; los mineros que explotan estos yacimientos son formales e informales usando tecnologías típicas y artesanales. En la explotación minera no metálica se encuentran el cemento, cal, yeso y piedra laja.

La región de Puno cuenta con una variedad grande de minerales entre los que se encuentran: estaño, cobre, oro, plata, zinc, plomo y hierro.

La minería informal en Puno ha incrementado solo en este año un 200%, lo que extraen los mineros informales es el oro. La informalidad de la minería es uno de los problemas ambientales más grandes que tiene el Lago Titicaca, se han identificado más que todo en los ríos de la cuenca del lago principalmente.



Figura 31: Minerías informales.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> <http://lapescaperubirf.galeon.com/especies.htm>

### 3.2 Situación de la contaminación

La contaminación del Lago Titicaca está preocupando cada vez más en los últimos años, lo último que está sucediendo fue la aparición de toneladas de peces muertos en la Bahía de Puno, debido al elevado nivel de contaminación que existe en el lago. La ciudad cuenta con cerca de un millón de habitantes de los cuales el 80% de sus aguas residuales son vertidas directamente al lago [23].

El Gobierno Regional de Puno ha indicado que es uno de los problemas prioritarios de la región es la amenaza de la contaminación en el Lago Titicaca. También indicaron que la contaminación es producto de las aguas residuales de 107 distritos, de la falta del tratamiento de residuos sólidos de 109 ciudades y la sustancias minerales desechadas por mas 10 mil 800 mineros informales.

En estos últimos años se han realizado estudios en la Bahía de Puno en los cuales se han percibidos lo siguientes síntomas de contaminación [22] :

- Aguas de muy baja calidad.
- Temperaturas altas de 20°C del agua del Lago.
- Aguas de alta peligrosidad.
- Transparencia baja menor de 0.5 m.
- Concentración alta de nutrientes de nitrógeno y fósforos disueltos.
- Sobresaturación de oxígeno disuelto en las aguas superficiales.
- Demanda biológica de oxígeno más elevada.
- Niveles de oxígeno disuelto bajos.
- Presencia de grandes volúmenes de Lemna (lenteja de agua).
- Turbidez en el agua causada por materiales sólidos, causando
- Alteración en los mecanismos fotosintetizadores

Estas y otras evidencias demuestran que la eutrofización de la bahía interior de Puno, se encuentra altamente contaminadas, llegando a un fuerte nivel de tensión ambiental.

Con respecto a la Reserva Nacional del Lago Titicaca, la contaminación ha afectado seriamente a la biología de la región y está amenazando a los ecosistemas cercanos al lago, también a las zonas adyacentes como las islas flotantes de los uros.

La Bahía de Puno se mantiene como una área con valores elevados de nutrientes, por lo que sus riberas se constituyen en zonas de reproducción. La Bahía interior se

---

<sup>16</sup> <http://www.nuevamineria.com/revista/2013/10/14/peru-anuncian-interdicion-contramineria-ilegal-en-puno/>

encontró acumulación de materia orgánica en las aguas profundas concentraciones de nitratos y nitritos. También se encontró contenidos de fosfatos.

Se encontraron elevados registros de sólidos suspendidos, sulfuros, aceites y grasas en la Bahía Interior de Puno. También se encontraron Coliformes totales en centro poblados y metales como el mercurio en los peces. El problema aparece en la fuente de alimentos para los pecadores y pobladores de la ciudad, quienes están en riesgo de intoxicación mercurial.

La evaluación de coliformes totales y fecales indica valores de contaminación del agua. En la mayoría de las localidades de la región de Puno, el agua para consumo humano es captada de los ríos, los cuales presentan diferentes grados de contaminación.



Figura 32: Peces encontrado muertos en el Lago Titicaca.<sup>17</sup>

### 3.2.1 Causas fundamentales de la contaminación del lago Titicaca

#### Contaminación por aguas servidas

La contaminación del lago Titicaca tiene una de sus primeras causas por las aguas servidas. La ciudad de Puno ha incrementado la cantidad de habitantes en los últimos años y a su vez debería de haber aumentado las instalaciones de sus servicios, pero no es así, si hay conexiones de alcantarillado son pocas o la mayoría defectuosas debidos a la filtración de sedimentos o viviendas que desagüen directamente al lago.

---

<sup>17</sup> <http://peru21.pe/impresalago-titicaca-alberga-parasitos-y-metales-2126814>

Para medir la calidad de las aguas servidas hay distintos parámetros en los cuales están [22]: DBO, DQO, coliformes fecales, coliformes totales, metales pesados, nutrientes: fosforo, nitrógeno, etc.



Figura 33: Contaminación por aguas servidas.<sup>18</sup>

### **Contaminación por actividad industrial y minera**

La contaminación debido a las actividades mineras e industriales son provocados por empresas formales e informales, vierten sus desechos al Lago Titicaca.

La ciudad de Puno en los últimos años ha incrementado la cantidad de empresas industriales pero no han considerado un tratamiento adecuado para los desechos.

Se han encontrado desechos en el lago proveniente de minas ubicadas al borde del lago, estas sustancias han causado desaparición de la fauna de la zona.

La minería informal es una causa mayor de contaminación por lo que no usan las herramientas de tratamiento para los desechos sino que todo los desechos van directamente al lago, como ya se ha dicho anteriormente es un problema que esta aumentado y el gobierno todavía no puede controlarlo.

Estudios indicaron que encontraron mercurio en los peces muertos, del Lago Titicaca, que serian de los desechos de las minas.

---

<sup>18</sup> <http://www.miningpress.com.pe/nota/114261/lago-titicaca-contaminado-por-desages-y-relaves-mineros>



Figura 34: Contaminación por la minería.<sup>19</sup>

### **Contaminación por Hidrocarburos**

La contaminación por causa de las antiguas zonas de explotación de petróleo es otro problema que acoge el lago Titicaca, produce una contaminación de suelo, aire y agua.

Estas zonas han sido de explotación petrolera hasta los años 1940, donde se han encontrado un aproximado de 30 pozos perforados sellados en malas condiciones lo que han dejado verter en la actualidad petróleo crudo y sustancias tóxicas que van directamente al lago Titicaca.

Estos pozos están provocando la contaminación de flora, fauna, zonas agrícolas, las aguas del lago y en el aire afectando a la población.

---

<sup>19</sup> <http://www.larepublica.pe/30-09-2013/exigen-interdicion-minera-ante-contaminacion-de-rios-en-puno>



Figura 35: Contaminación por petróleo.<sup>20</sup>

### 3.3 Estudios realizados e instituciones ambientales

El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) cuenta con 72 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de administración nacional, entre la que se encuentra La reserva Nacional del Titicaca (RNT). El objetivo de la creación de esta ANP es conservar la excepcional belleza paisajística, flora y fauna que tiene el lago Titicaca [24].

También el lago Titicaca fue reconocido por la Convención RAMSAR como Humedal de Importancia Internacional el 20 de Enero de 1997. El objetivo fue elaborar un estudio de la diversidad biológica del sitio e identificando las amenazas a la conservación de los recursos de flora y fauna [24].

El Gobierno Regional de Puno creó una Comisión Ambiental Regional, constituida por 22 instituciones de la región Puno, entre sus finalidades está la evaluación de la diversidad de flora y fauna del Lago Titicaca fortaleciendo los organismos para la conservación del área del Altiplano.

En la actualidad existen estudios con respecto a la contaminación general del Lago Titicaca, entre las instituciones que han desarrollado estos estudios tenemos: La Universidad del Altiplano (UNA), el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT). En el año 1994 en conjunto con la Dirección Regional Agraria de Puno, se coordinó para llevar a cabo la evaluación de la contaminación del Lago Titicaca, en especial del ámbito de la Reserva Nacional, a fin de elaborar en el futuro mediano planes y proyectos que conlleven a controlar y disminuir la contaminación [22].

---

<sup>20</sup><http://evaluacionimpactosambientales.blogspot.com.es/2013/10/lago-maracaibo-contaminado-con-petroleo.html>

Estudio de Autoridad Nacional del Agua (ANA) indico que en la bahía de Puno existen bajos niveles de oxígeno disuelto y altas niveles de amoníaco. También se encontró nitrógeno amoniacal en altas cantidades, presencia de arsénico y plomo, asimismo nitrógenos y fósforo. Debido al vertimiento de aguas residuales directamente vertidas o mal tratadas. Se encontró el sedimento afectado por plomo, cadmio, níquel, arsénico, manganeso, cobre, hierro, zinc, entre otros. Se indicaron que es por la actividad minera informal. La muerte de dos toneladas de peces en la bahía de Puno fue causa del poco nivel de oxígeno provocado por la contaminación ambiental [25].

Los expertos de la Universidad Nacional de Altiplano (UNA) advirtieron de la posibilidad de que vuelva a repetirse muertes masivas de peces en la Bahía de Puno debió a la contaminación. Las autoridades universitarias indicaron con urgencia el monitoreo permanente del lago Titicaca [26].

Estudio de contaminación acuática del lago Titicaca realizado por el LRP durante el 2008, convenio interinstitucional IMARPE-FONCHIP, se ha identificado la zona más contaminada la Bahía de Puno [27]. Los indicios percibidos son temperatura alta, transparencia baja y presencia de grandes volúmenes de plantas flotantes, lo cual indica alta concentración de nutrientes y materiales orgánico, provenientes de los desagües urbanos.

## 4 Diseño

Debemos realizar el diseño de nuestro proyecto para la monitorización de la contaminación en el Lago Titicaca. En este capítulo se definirá la ubicación de los sensores para medir la contaminación en el Lago Titicaca, la tecnología y sensores que se empleara en el proyecto, como el modo de recolección de datos y finalmente el propuesto del trabajo que se realizara. En la Figura 41 observamos lo antes mencionado.

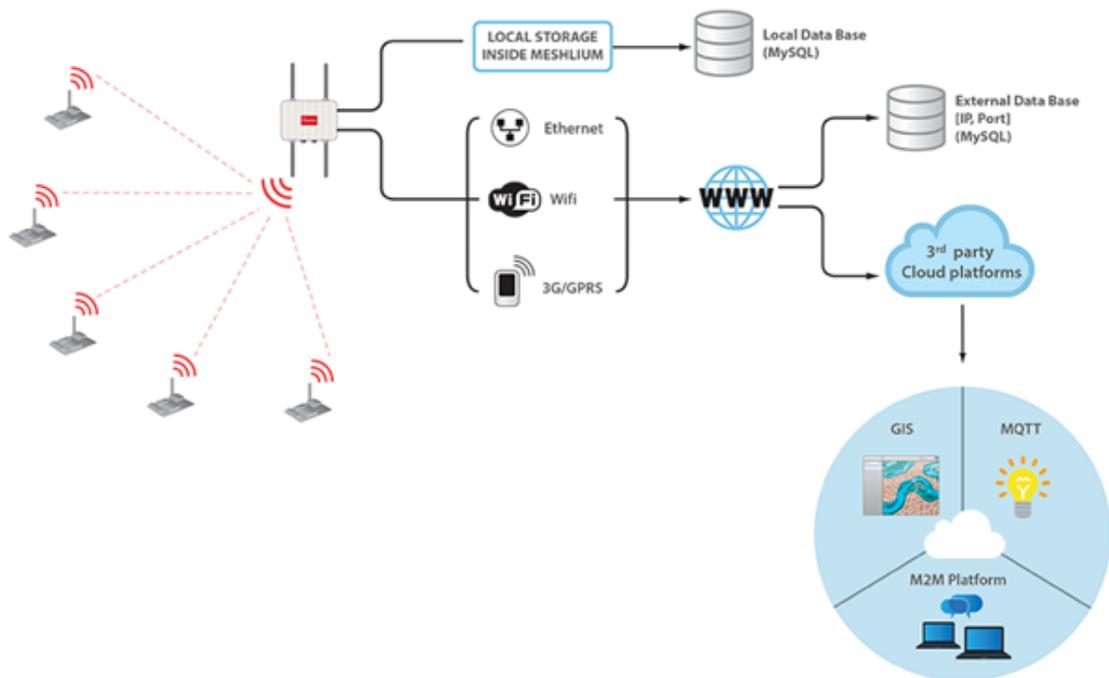


Figura 36: Diseño de la red de sensores.<sup>21</sup>

### 4.1 Ubicación de los puntos de medición

La Bahía de Puno del Lago Titicaca tiene alrededor los distritos: Puno, Paucarcolla, Chucuito y Huata. En la Fig. 35 podemos ver los distritos que esta alrededor, que más adelante identificaremos la cobertura en dichos puntos de la Bahía de Puno y sus alrededores.

<sup>21</sup>

[http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote\\_plug\\_and\\_sense\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote_plug_and_sense_technical_guide.pdf)



Figura 37: Mapa del Distrito de Puno.<sup>22</sup>

La universidad del Altiplano vemos su ubicación en la Figura 36.

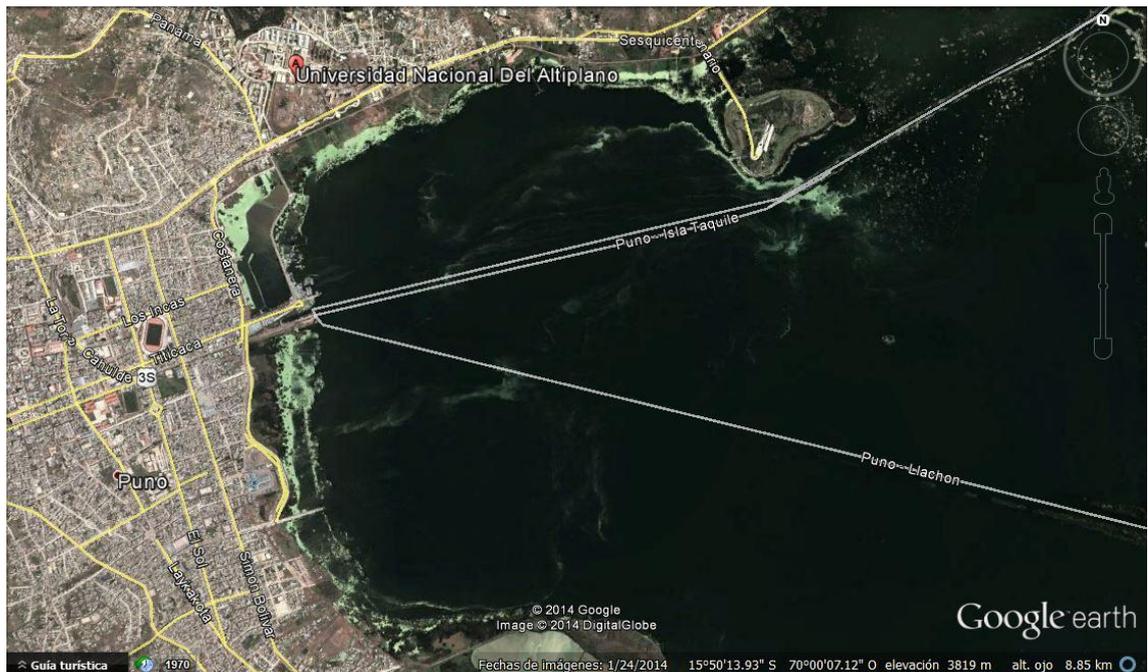


Figura 38: Mapa de ubicación de la Universidad Nacional del Altiplano.

<sup>22</sup> <http://e-callao.net/2013/02/ejecutivo-declara-en-emergencia-districtos-en-puno-huanuco-y-huancavelica-ante-riesgo-de-deslizamientos/>

Hemos identificado los puntos de medición donde van a estar situados los sensores, son cinco sensores que serán colocado en la Bahía Interior de Puno. En la figura 41 se ve la ubicación de los sensores.



Figura 39: Mapa de los sensores.

En la Tabla 3 vemos las distancias que hay entre los cinco sensores que se colocaran en el Lago Titicaca para medir la contaminación.

Sensor	distancia (m)	Sensor
uno	1000	dos
dos	1000	tres
tres	1000	cuatro
cuatro	1000	cinco

Tabla 3: Distancias entre los sensores.

En la Tabla 4 está la distancia desde donde está ubicado el sensor en la Bahía Interior del Lago Titicaca hasta el malecón.

Sensor	malecón (m)
Uno	361
Dos	334
Tres	252
cuatro	261
Cinco	244

Tabla 4: Distancia entre sensor al malecón.

## 4.2 Elección de la tecnología de comunicación

En el punto 2.4, identificamos los estándares de comunicación para elegir cuál es el más adecuado para usar en el diseño de nuestra red de sensores. Para los cual en la Tabla 5 comparamos las distintas tecnologías de comunicación.

Comunicación radio	Frecuencia	Zona de uso	Protocolo	Potencia	Conector de Antena	Distancia al aire libre
WiFi	2.4GHz	Todo el mundo	802.11b/g	12dbm	SMA	100-300m
Bluetooth	2.4GHz	Todo el mundo	Bluetooth 2.1 + EDR. Clase 2	3dbm	SMA	30-100m
GSM - GPRS	850MHz	Todo el mundo	GSM - GPRS	2W(Class 4) 850MHz/900MHz 1W(Class 1) 1800MHz/1900MHz	UFL	Km Cobertura de portadora
	900MHz					
	1800MHz					
	1900MHz					
3G + GPS	Tri-Banda UMTS 2100/1900/900 MHz Quad-Banda GSM/EDGE, 850/900/1800/1900 MHz	Todo el mundo	GSM - GPRS - 3G	UMTS 900/1900/2100 0,25W GSM 850MHz/900MHz 2W DCS1800MHz/PC S1900MHz 1W	UFL	Km Cobertura de portadora

Tabla 5: Características de las distintas comunicaciones.

Comunicación radio	Frecuencia	Zona de uso	Protocolo	SMA	
				Potencia	Distancia
802.15.4 - PRO	2.4GHz	Todo el mundo	802.15.4	63mW	7Km
ZB - Pro			ZigBee - Pro	50mW	7Km
868	868MHz	Europa	RF	315mW	12Km
900	900MHz	USA y Canadá		50mW	10Km

Tabla 6: Características de ZigBee.

Para elegir la tecnología de comunicación, vamos a averiguar que cobertura se encuentra en la Bahía Interior de Puno.

Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicación (OSIPTEL) [28], que es el encargado de regular las Telecomunicaciones en Perú, identifica la cobertura del servicio móvil en cada una de las localidades que las empresas operadoras brindan su servicio.

Información de Reporte							
Información de cobertura celular reportada por las empresas.							
Departamento	Provincia	Distrito	Localidad	CLARO	MOVISTAR	NEXTEL	
PUNO	PUNO	PUNO	PUNO	SI	SI	SI	
Información de Operador/Tecnología							
Empresa	Telefonia	InternetMovel2G	InternetMovel3G				
MOVISTAR	SI	SI	SI				
NEXTEL	SI	SI	SI				
CLARO	SI	SI	SI				

Figura 40: Reporte de Cobertura de Operadores.

Contamos con tres operadores los cuales se representa en la Fig. 36, la cobertura de cada operador en determinados lugares para lo cual se identifica cada operador

con un color: el rojo el Operador Claro, el verde el operador Movistar y el azul el Operador Nextel.

**BUSCAR COBERTURA**

Ubicación:  
bahia de puno

Departamento:  
Puno

Provincia:  
Puno

Distrito:  
Puno

Localidad:  
Puno

Ver cobertura Limpiar

Seleccionar Operador(es):  
 Claro  Movistar  Nextel

Buscar reportes:

EL OSIPTEL pone a su disposición este aplicativo informático, mediante el cual podrá conocer la cobertura del servicio móvil en cada una de las localidades que las empresas operadoras declaran al OSIPTEL. De no corresponder la información brindada por las empresas operadoras sobre la cobertura móvil o detecta problemas de calidad en alguna localidad, agradeceremos ingresar un reporte. Sólo tiene que hacer clic en Reportar y llenar el formulario en línea.

**Cerrar**

Figura 41: Operadores de Cobertura.<sup>23</sup>

En la fig. 30 se muestra la cobertura de los distintos operadores en la Bahía de Puno y sus alrededores.

<sup>23</sup> <http://www.osiptel.gob.pe/coberturamovil/>

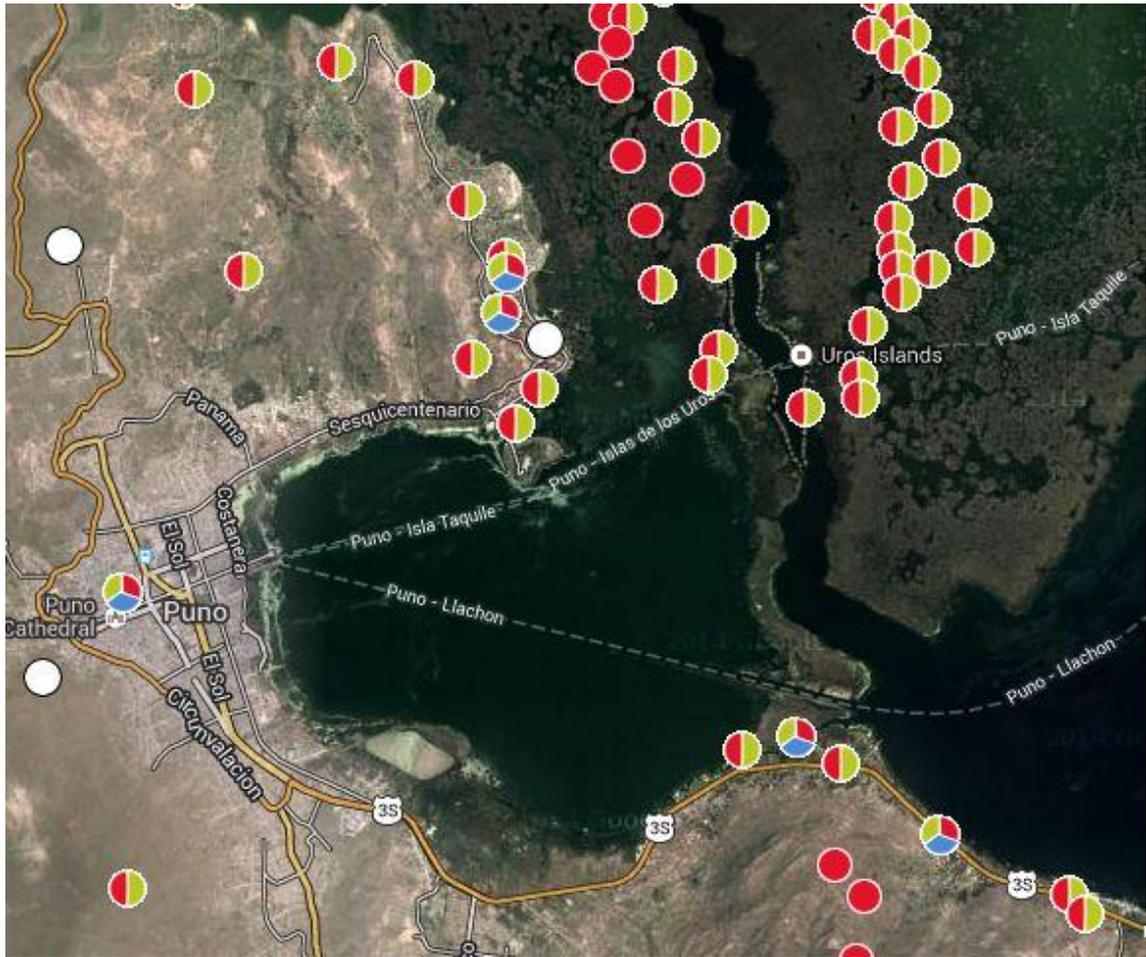


Figura 42: Mapa del Cobertura.

Se identificaron tres puntos de cobertura para visualizar las empresas operadoras y las tecnologías de comunicación activa, donde podemos visualizar que se cuenta con telefonía móvil, 2.5G y 3G.

En la Fig. 39 hay cobertura de las tres empresas operadoras móviles. En cambio en la Fig. 38 y Fig. 40 solo se tiene cobertura de las operadoras Claro y Movistar.



Figura 43: Cobertura en la localidad Isla Esteves.

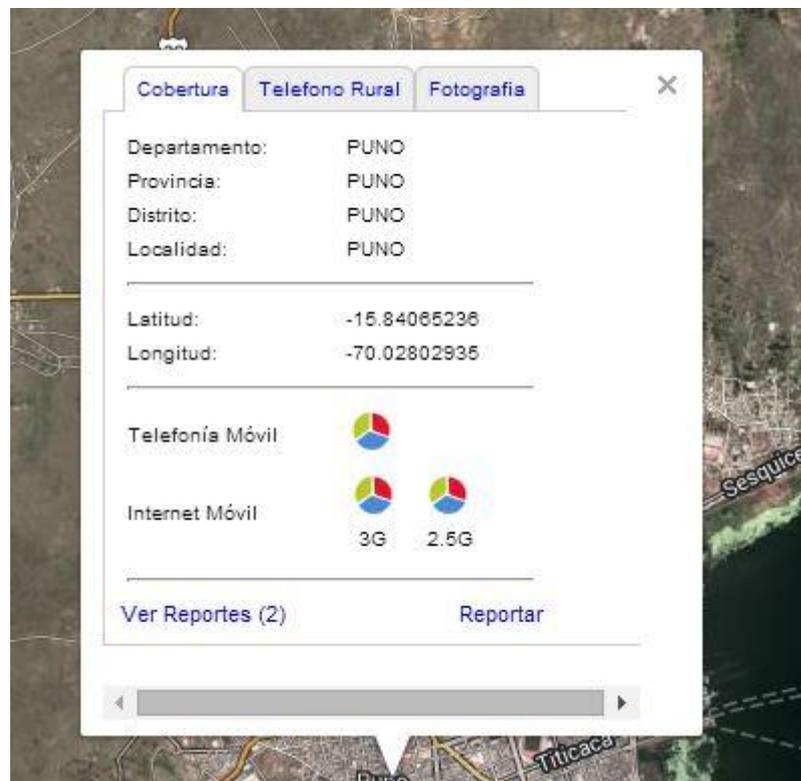


Figura 44: Cobertura en la localidad Puno.

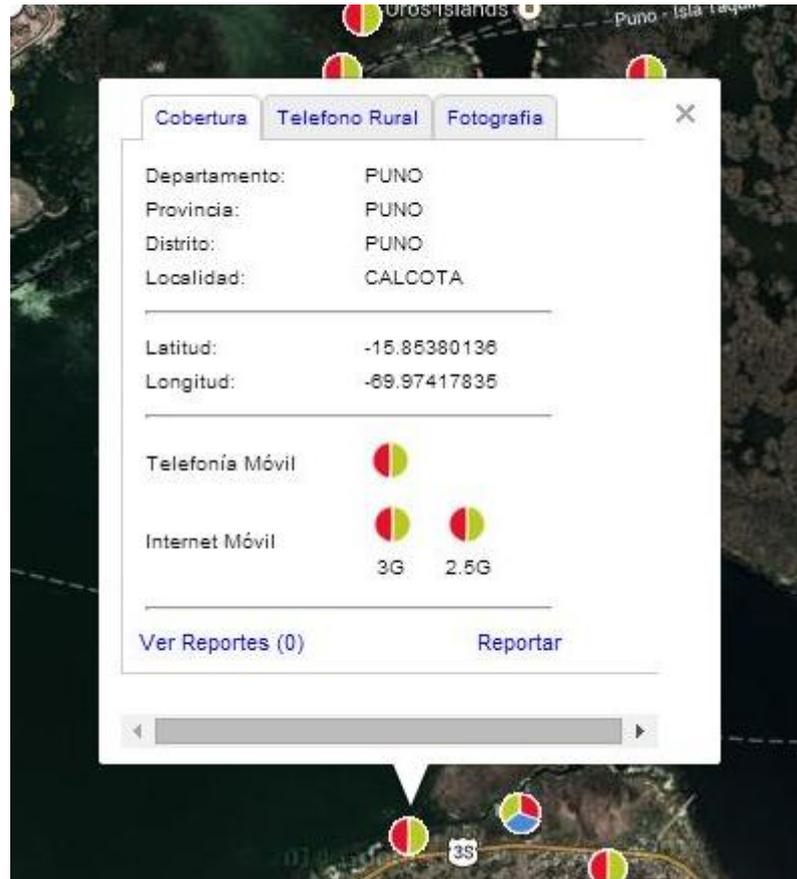


Figura 45: Cobertura en la localidad de Calcota.

Después del trabajo realizado elegimos GPRS como la tecnología de comunicación de los sensores con la plataforma final de recolección y procesamiento de información. Fue comprobado que la Bahía de Puno tiene cobertura móvil en toda la zona.

### 4.3 Elección del sensor

El modelo de sensor Smart Water de Libelium [29] facilita el seguimiento a distancia de los parámetros más relevantes relacionados con la calidad del agua. Con esta plataforma se puede medir más de 14 parámetros, entre ellos los más relevantes para el control de agua, tal como el oxígeno disuelto, potencial de reducción -oxidación, pH, conductividad, iones disueltos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) y la temperatura.



Figura 46: Sensor Smart Water.<sup>24</sup>

El sensor Smart Water nos permite detectar las fugas de productos químicos que son arrojados al Lago Titicaca desde fábricas y minerías que se encuentran en los alrededores. También podemos controlar los niveles de contaminación, se puede detectar en tiempo real las fugas y desechos en el Lago Titicaca. El sensor elegido medirá los niveles de conductividad, oxígeno, pH, oxidación y la temperatura del agua.

#### 4.3.1 Guardar información

El socket SIM externa se compone de 2 conectores:

- Tarjeta micro-SIM
- Micro-USB (tipo B)

La operación con el socket micro-USB es lo mismo que con la toma USB normal. Sólo recuerde utilizar un cable micro-USB.

El conector de la tarjeta micro-SIM permite ahora al usuario conectar la tarjeta SIM que le gusta desde el exterior. Ya no es necesario el envío de una tarjeta SIM a Libelium para su correcta instalación. Usted puede elegir el proveedor de telecomunicaciones para una tarjeta micro-SIM.

Alternativamente, usted puede tomar una tarjeta SIM normal y transformarla en una tarjeta micro-SIM con un cortador de la tarjeta SIM.

---

<sup>24</sup> <http://www.libelium.com/smart-water-sensors-monitor-water-quality-leakages-wastes-in-rivers-lakes-sea/>

Además, el conector de la tarjeta micro-SIM tiene un mecanismo de vaivén, por lo que es muy fácil de extraer la tarjeta con la ayuda de un clavo.

Se debe asegurar el socket SIM externa, con su tapa de protección antes de la implementación al aire libre.



Figura 47: External tarjeta SIM.<sup>25</sup>

#### 4.3.2 Energía Solar

La batería de los sensores se puede recargar colocando paneles solares. Hay dos opciones internas o externas de paneles solares.

El panel solar externo está montado en un soporte cuarenta y cinco grados que asegura el máximo rendimiento de cada instalación al aire libre.

Para la opción de interior, el panel solar está integrado en la parte frontal de la caja, perfecta para el uso donde el espacio es un desafío importante.

En este proyecto se ha elegido colocar los paneles solares internos, que es más eficiente para los sensores de medición que vamos a colocar en el Lago Titicaca. Colocar paneles solares es muy beneficioso en esta zona que es muy soleada durante el día.

---

<sup>25</sup>

[http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote\\_plug\\_and\\_sense\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote_plug_and_sense_technical_guide.pdf)



Figura 48: Panel solar.<sup>26</sup>

#### 4.4 Plataforma recolección de información

Los datos que recogen los distintos sensores se tienen que almacenar y procesar y para lo cual está el software de configuración MeshLium.

MeshLium incluye un software de gestión para configurar a través de una interfaz gráfica de todos los parámetros de sus interfaces de comunicación (WiFi, ZigBee, 3G/GPRS y Bluetooth) y gestionar el almacenamiento de datos de los sensores recibido. También permite cargar los ajustes de fábrica para facilitar la instalación. Su sistema operativo es Linux y el software de configuración es de código abierto.

En la pantalla principal de MeshLium nos muestra seis pestañas que son muy útiles y fácil de acceder, las cuales se muestran en la figura 42, que son: interfaces, red de sensores, herramientas, sistema, administrador del sistema de actualización y ayuda.

El software de configuración nos permite elegir entre dirección ip estática o dinámica y controlar el tiempo de uso de los sensores. También sincronizar las bases de datos de la red de sensores como los parámetros para calcular las distancia entre sensores.

---

<sup>26</sup>

[http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote\\_plug\\_and\\_sense\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote_plug_and_sense_technical_guide.pdf)

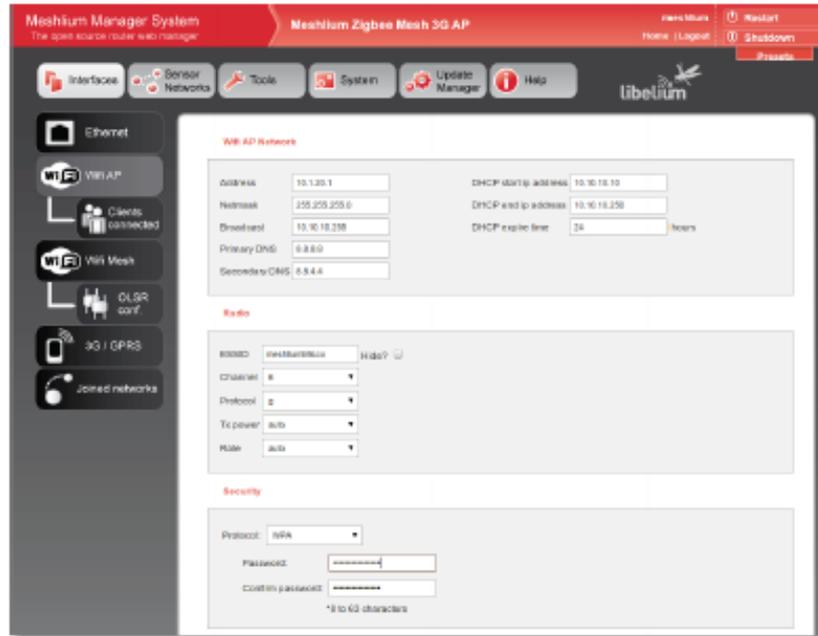


Figura 49: Plataforma MeshLium.<sup>27</sup>

## 4.5 Boyas

Los sensores estarán ubicados en el Lago Titicaca, por lo cual deben permanecer en la ubicación colocada, y para esto usaremos las boyas. Hay una gran variedad de boyas en el mercado para lo que requeríamos hemos elegido la Boya Rígida BMDT la cual tiene las características necesarias y que son las siguientes:

- Cuerpo: polietileno rotomoldeado.
- Tubo de metal: acero galvanizado por inmersión en caliente.
- Espuma: poliuretano de celda cerrada.
- Diámetro de tubo 60 mm.
- Especial para el amarre y la señalización con cadena
- Cadena máxima adecuada: 16mm.
- Diseño modular.
- Moldeado en una sola pieza.
- Pared de espesor uniforme.
- Superficie lisa.

<sup>27</sup>

[http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote\\_plug\\_and\\_sense\\_technical\\_guide.pdf](http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspmote_plug_and_sense_technical_guide.pdf)

- Construido para una resistencia extrema y condiciones severa.
- Se suministra siempre llena de espuma de poliuretano.



Figura 50: Boya Rígida.<sup>28</sup>

#### 4.6 Presupuesto del proyecto

Hemos ido viendo paso por paso todo lo que requerimos para nuestro proyecto de un Sistema de Monitorización Medioambiental para el Lago Titicaca basado en Redes Inalámbricas de Sensores.

El presupuesto del proyecto se ha tomado en cuenta los sensores, el sistema de comunicación y recolección de datos, energía a usar y las boyas. Mas definido a continuación:

- Sensores y conductividad

Los sensores elegidos para este proyecto han sido de la empresa Libelium, una empresa española, por su calidad y buen precio.

- Sistema de comunicación y recolección de datos

El sistema Plug & Sense nos permite usar el sistema de comunicación por GPRS y brinda el software de comunicación MeshLium para recolección de datos de los sensores.

- Energía para los sensores

<sup>28</sup> <http://www.nauticexpo.com/prod/castro/rigid-buoys-22763-432297.html>

La ubicación del Lago Titica permite utilizar paneles solares

- Boyas

Las boyas rígidas como han sido mencionadas en el apartado anterior es la mejor opción para los sensores.

Referencia	Descripción	Precio (Euro)	Cantidad	Importe (Euro)
<b>SW-GPRS</b>	Plug & Sense! SW GPRS	550.00	5	2750.00
<b>6600-EXT</b>	6600mA·h rechargeable battery+external solar panel 7V + 500m	65.00	5	325.00
<b>9326</b>	Conductivity sensor	33.00	5	165.00
<b>9327</b>	Dissolved Oxygen sensor	340.00	5	1700.00
<b>9328</b>	pH sensor	17.00	5	85.00
<b>9329</b>	Oxidation Reduction Potential sensor	45.00	5	225.00
<b>9339</b>	Conductivity Calibration Kit, K=0.1	23.00	5	115.00
<b>9340</b>	Conductivity Calibration Kit, K=1	23.00	5	115.00
<b>9341</b>	Conductivity Calibration Kit, K=10	23.00	5	115.00
<b>88572-V</b>	Dissolved Oxygen Kit	311.95	5	1559.75
<b>9343</b>	pH Calibration Kit	52.00	5	260.00
<b>9344</b>	ORP Calibration Solution	35.00	5	175.00
<b>Shipping</b>	Shipping	15.00	1	15.00
<b>BMDT</b>	Boya	352.00	5	1760.00
	Entregas IVA 21%			1966.60
			<b>Total</b>	<b>11331.35</b>

Tabla 7: Presupuesto del proyecto.

El presupuesto realizado para este proyecto no está incluido los costos de mano de obra que es indispensable para realizarlo.

El proyecto del Sistema de Monitorización Medioambiental para el Lago Titicaca basado en Redes Inalámbricas de Sensores suma un total de 11331.35 euros.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

Ubicación de los puntos de medición fueron establecidos alrededor de la Bahía de Puno donde los estudios han indicado que esta la mayor contaminación del agua. Se eligieron cinco puntos de medición que tienen un kilómetro de distancia entre ellos y la distancia de los sensores con el malecón está entre doscientos y cuatrocientos metros.

Para la elección de la tecnología de comunicación que usa en el proyecto se comparo las distintos tipos de comunicaciones y se decidió usar sistema móvil, para lo cual se llevo a cabo una investigación de cobertura móvil. La Bahía de Puno tiene cobertura móvil de 2.5 G en toda su extensión por lo cual se eligió utilizar GPRS como la tecnología de comunicación.

Se hizo un análisis de las sustancias contaminantes que se han encontrado en el Lago Titicaca y se busco un sensor de agua que mida dichos parámetros. El sensor Smart Water cubre con todo lo necesarios para utilizarlo en una red de medición de sensores inalámbricos.

El sensor de Libelium permite colocar una tarjeta micro-SIM donde se guarda la información, es muy útil para tener un backup de la los datos de medición de las sustancias contaminantes del lago.

La elección de la energía para la red de sensores inalámbricos se tomo en cuenta la ubicación de los sensores que es un lugar donde la radiación solar durante el día es muy alta, por lo cual los paneles solares es la mejor opción. Por lo que los sensores se colocan en el lago lo mejor es colocar los paneles solares internos.

Se tiene que procesar y almacenar toda la información de la red de sensores inalámbricos y la plataforma de MeshLium hace todo eso posible. Es un Software de configuración que gestiona el almacenamiento de datos que los sensores envían, se puede acceder desde un móvil hasta en un ordenador.

Los sensores se sostienen por una boya que hace permanecer en la ubicación establecida en el Lago para la medición. Hay muchos tipos de boyas para lo cual se eligió la que tiene las características necesarias de rigidez, señalizado, material resistente como el acero y principalmente que se pueda colocar el sensor.

## 6 Trabajos Futuros

En el trabajo desarrollado se ha definido una solución que permite la monitorización de 4km lineales de la bahía de puno, debido a que el problema de la contaminación se pueda detectar en otro puntos de la bahía seria una solución futura hacer la medición en un área más extensa. En lo particular seria colocar en áreas interiores del lago, el problema de eso es que no hay comunicaciones móviles y en este sentido se podría evaluar una solución en la recogida en sitio de las medidas realizadas por los sensores por medio de barcos que hagan recorrido periódico en esos puntos de medida como las redes DTNS [30].

Una línea de trabajo inmediata seria la implementación del proyecto en el Lago Titicaca y por eso se está en contacto con Ferdinand Pineda, que es Especialista en desarrollo de Proyectos en Telecomunicaciones y Telemática de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, y está prevista la solicitud de un proyecto con la financiación de FINCYT (Fondos para la Innovación, Ciencia y Tecnología).

## Bibliografía

- [1] «Wireless Sensor Network,» [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/66593659/wsn>. [Último acceso: 27 Febrero 2014].
- [2] L. G. Muñoz, «Estudio de Consumo en Redes de Sensores Inalámbricos para la detección de ondas características en ECG,» [En línea]. Available: <http://eprints.ucm.es/10276/1/LauraGutierrezMu%C3%B1oz-ProyectoMaster.pdf>. [Último acceso: 16 Abril 2014].
- [3] GALTEL, «Tecnología de Redes Inalámbricas de Sensores,» [En línea]. Available: <http://www.galtel.es/servicios/tecnologia-de-redes-inalambricas-de-sensores>. [Último acceso: 29 Marzo 2014].
- [4] J. Q. Morata, «Estudio y Evaluación de prestaciones de redes inalámbricas de sensores,» [En línea]. Available: [http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10354/Proyecto\\_Querol.pdf](http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10354/Proyecto_Querol.pdf). [Último acceso: 27 Febrero 2014].
- [5] E. J. G. Davis, «Implementación de Protocolos de Transporte en Redes de Sensores,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7480/1/PFM-ERNESTOGARCIADAVIS.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [6] «Construcción de un árbol de términos latentes y su uso en el cálculo de la semejanza de documentos,» [En línea]. Available: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/5636>. [Último acceso: 5 Marzo 2014].
- [7] «D-Mesh communication technology,» [En línea]. Available: [http://www.djv-com.com/uploads/dmesh\\_en.pdf](http://www.djv-com.com/uploads/dmesh_en.pdf). [Último acceso: 5 Marzo 2014].
- [8] «Evaluacion de traspaso de comunicaciones inalambricas en telefonos celulares de alta prestaciones,» [En línea]. Available: [http://webpersonal.uma.es/~ECASILARI/Docencia/Memorias\\_Presentacione](http://webpersonal.uma.es/~ECASILARI/Docencia/Memorias_Presentacione)

s\_PFC/46\_Memoria%20final\_gomez\_amor.pdf. [Último acceso: 16 Abril 2014].

- [9] «Evaluacion de la red de transmision,» [En línea]. Available: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz\\_Jim%C3%A9nez\\_Laura.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz_Jim%C3%A9nez_Laura.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 20 Marzo 2014].
- [10] «Acceso a red UMTS,» [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11186/1/ACCESO%20A%20INTERNET%20EN%20UNA%20RED%20UMTS.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2014].
- [11] «LTE: Long Term Evolution,» [En línea]. Available: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=249>. [Último acceso: 24 Mayo 2014].
- [12] «LTE,» [En línea]. Available: <http://www.gsma.com/aboutus/gsm-technology/lte>. [Último acceso: 24 Mayo 2014].
- [13] «Diferencia de ZigBee vs WiFi,» [En línea]. Available: <http://www.engineersgarage.com/contribution/zigbee-vs-wifi>. [Último acceso: 20 Marzo 2014].
- [14] «Protocolo ZigBee,» [En línea]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1109/1/InformeTecZB.pdf>. [Último acceso: 20 Marzo 2014].
- [15] «Arquitectura de las redes sensores,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/tapia\\_z\\_jl/capitulo\\_3.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/tapia_z_jl/capitulo_3.html). [Último acceso: 19 Marzo 2014].
- [16] «Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks,» [En línea]. Available: [http://bnrg.eecs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS268.F08/papers/24\\_diffusion.pdf](http://bnrg.eecs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS268.F08/papers/24_diffusion.pdf). [Último acceso: 5 Marzo 2014].

- [17] «Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking,» [En línea]. Available: <http://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Intanagonwiwat02b.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [18] «Protocolo de encaminamiento para redes inalámbricas de sensores en aplicaciones de monitoreo y control,» [En línea]. Available: [http://eprints.ucm.es/9883/1/Master\\_Nelson.pdf](http://eprints.ucm.es/9883/1/Master_Nelson.pdf). [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [19] «Algoritmos de Enrutamiento por Inundación para Redes de Sensores inalámbricos,» [En línea]. Available: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/32048/1/garciaaburtoantonio.pdf>. [Último acceso: 19 Marzo 2014].
- [20] «Protocolos para redes inalámbricas de sensores,» [En línea]. Available: <http://materias.fi.uba.ar/7500/Garbarino.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2014].
- [21] «Reserva Nacional del Titicaca,» [En línea]. Available: <http://www.sernanp.gob.pe/sernanp/contenido.jsp?ID=9&C=ANP>. [Último acceso: 24 Abril 2014].
- [22] «Evaluacion de la contaminacion del Lago Titicaca,» [En línea]. Available: [http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/contaminacion\\_titicaca/1.pdf](http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/contaminacion_titicaca/1.pdf). [Último acceso: 24 Abril 2014].
- [23] «Contaminacion del Lago Titicaca,» [En línea]. Available: [http://www.la-razon.com/index.php?\\_url=/opinion/editorial/Contaminacion-lago-Titicaca\\_0\\_1848415144.html](http://www.la-razon.com/index.php?_url=/opinion/editorial/Contaminacion-lago-Titicaca_0_1848415144.html). [Último acceso: 24 Abril 2014].
- [24] «Linea base ambiental de la cuenca del Lago Titicaca,» LÍNEA BASE AMBIENTAL DE LACUENCA DEL LAGO TITIICACA, [En línea]. Available: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>. [Último acceso: 24 Abril 2014].
- [25] «Estudio de ANA confirma que peces murieron en lago Titicaca por falta de oxigeno,» [En línea]. Available: <http://www.larepublica.pe/11-09-2013/lago-titicaca-estudio-de-ana-confirma-que-peces-murieron-por-falta-de-oxigeno>.

[Último acceso: 16 Abril 2014].

- [26] «Estudio detecta mal estado del ecosistema y contaminación en el Titicaca,» [En línea]. Available: <http://elcomercio.pe/peru/lima/estudio-detecta-mal-estado-ecosistema-contaminacion-titicaca-noticia-1564976>. [Último acceso: 16 Abril 2014].
- [27] «Estudio de la contaminación acuática en el lago titicaca y principales afluentes,» [En línea]. Available: <http://siar.regionpuno.gob.pe/index.php?accion=verElemento&idElementoInformacion=282&verPor=&idTipoElemento=26&idTipoFuente=&idfuentesinformacion=59>. [Último acceso: 16 Abril 2014].
- [28] «OSIPTEL,» [En línea]. Available: <http://www.osiptel.gob.pe/coberturamovil/>. [Último acceso: 27 Mayo 2014].
- [29] «Smart Water Sensors,» [En línea]. Available: <http://www.libelium.com/smart-water-sensors-monitor-water-quality-leakages-wastes-in-rivers-lakes-sea/>. [Último acceso: 14 Mayo 2014].
- [30] H. R. S. P. Lídice Romero Amondaray, «Las redes tolerantes al retardo (DTN),» *Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal)*, vol. 9, n° 2, pp. 29-42, 2010.