



**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE SISTEMAS INTELIGENTES
Y APLICACIONES NUMÉRICAS EN INGENIERÍA**
UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

MÁSTER EN SISTEMAS INTELIGENTES Y APLICACIONES NUMÉRICAS

Título del Proyecto:

**“INFRAESTRUCTURA POLIVALENTE BASADA EN SENSORES
INALÁMBRICOS APLICADA A LA MONITORIZACIÓN
MEDIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA”**

Autor

Pablo Pico Valencia.

Las Palmas de Gran Canaria, junio del 2012



Trabajo de Fin de Máster

Título: INFRAESTRUCTURA POLIVALENTE BASADA EN SENSORES INALÁMBRICOS APLICADA A LA MONITORIZACIÓN MEDIAMBIENTAL GEORREFERENCIADA.

Autor: Pico Valencia, Pablo.

Fecha: Junio del 2012.

Tutor: Cabrera Gámez, Jorge.

Cotutor: Hernández Sosa, Daniel.

Índice General

Índice General	iii
Índice de Figuras.....	v
Índice de Tablas	vii
Acrónimos.....	viii
Glosario.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación actual de la Contaminación Ambiental	2
1.2. Esquema del documento.....	7
METODOLOGÍA Y OBJETIVOS	10
2.1. Justificación.....	10
2.2. Objetivos	11
2.3. Metodología	12
RED SENSORIAL INALÁMBRICA Y MONITORIZACIÓN GEORREFERENCIADA ..	14
3.1. Introducción	14
3.2. Redes Sensoriales.....	14
3.2.1. Componentes	15
3.2.2. Tipos de Nodos.....	16
3.3. Redes Sensorial Inalámbrica	17
3.3.1. Topologías	17
3.3.2. Estándares de Comunicación.....	19
3.4. Monitorización	23
3.4.1. Objetivos que persigue la monitorización	23
3.4.2. Tipos de Monitorización.....	24
3.5. Medio Ambiente.....	24
3.5.1. Parámetros Ambientales	25
3.5.2. Factores Contaminantes.....	26
3.5.3. Normativas Medioambientales	26
3.6. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	28
3.6.1. Características.....	28
3.6.2. Componentes	29
ANÁLISIS DE LA RED SENSORIAL INALÁMBRICA.....	31
4.1. Análisis de Requerimientos.....	31
4.1.1. Parámetros Ambientales sujetos de medición.....	32
4.1.2. Escalas de Monitorización	32
4.1.3. Requerimientos de Medios de Transmisión.....	33
4.1.4. Requerimientos de Fuentes de Carga.....	33
4.1.5. Requerimientos de Tecnologías (Hardware).....	34
4.1.6. Requerimientos de Tecnologías (Software).....	37

4.2. Requerimientos Funcionales	40
4.2.1. Casos de uso	40
4.2.2. Especificación de Casos de Uso y Secuencia de Operaciones	41
4.2.3. Diagrama de flujo de datos - Diagrama de Detalle.....	50
DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA	51
5.1. Introducción	51
5.2. Arquitectura de los Nodos Sensoriales Inalámbricos.....	51
5.2.1. Nodos Terminales – Nodo sensorial de bajas prestaciones	52
5.2.2. Nodo de Infraestructura	53
5.2.3. Estación Base – Nodo sensorial de altas prestaciones.....	54
5.2.4. Parámetros configurables.....	56
5.3. Arquitectura de la Red Sensorial Inalámbrica.....	56
5.4. Modelo de Comunicaciones	56
5.4.1. Modelo basado en Clúster (Grupo Jerárquico con carácter Multicast).....	58
5.4.2. Modelo basado en Multisaltos (Grupo de Colegas con carácter Dinámico)	63
5.4.3. Topología.....	63
5.4.4. Esquema de Enrutamiento	64
5.4.5. Protocolo de Enrutamiento	65
SIGMA – SIG DE MONITORIZACIÓN AMBIENTAL.	67
6.1. SIGMA.....	67
6.2. Arquitectura en tres capas	68
6.2.1. Capa de Datos	70
6.2.2. Capa de Negocios	72
6.2.3. Capa de Presentación.....	73
6.3. Análisis de Requerimientos.....	74
6.3.1. Requerimientos de Información	74
6.3.2. Requerimientos de Entorno	75
6.3.3. Requerimientos Funcionales.....	76
6.3.4. Requerimientos de Interfaz.....	77
CONCLUSIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
ANEXOS	85

Índice de Figuras

Figura 1: Emisión de gases contaminantes por la Refinería Estatal de Esmeraldas.....	3
Figura 2: Contaminación de río por empresa petrolera. Esmeraldas - Ecuador.	4
Figura 3: Contaminación acústica causada por vehículos motorizados en Esmeraldas - Ecuador.....	5
Figura 4: Componentes de un nodo de una red sensorial.	15
Figura 5: Esquema de una red de sensores inalámbricos.	17
Figura 6: Topologías comunes en las redes de sensores inalámbricos.....	18
Figura 7: Sistemas de Comunicación Inalámbrica de última generación.....	21
Figura 8: Componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG).....	29
Figura 9: Dependencia de prestaciones en la Tecnología Sensorial Inalámbrica.....	34
Figura 10: Casos de Usos de la Red Sensorial Inalámbrica de Monitorización Ambiental.	40
Figura 11: Secuencia de Operaciones - Cambiar estado a un nodo de la red	41
Figura 12: Secuencia de Operaciones - Cambiar estado a un nodo de la red	42
Figura 13: Secuencia de Operaciones - Capturar datos del entorno.....	43
Figura 14: Secuencia de Operaciones - Procesamiento de datos.....	44
Figura 15: Secuencia de Operaciones - Envío de datos/paquete.	45
Figura 16: Secuencia de Operaciones - Parametrización de nodos.	46
Figura 17: Secuencia de Operaciones - Analizar escenarios.....	47
Figura 18: Secuencia de Operaciones - Dar altas a nuevos nodos de la red sensorial.....	48
Figura 19: Secuencia de Operaciones - Dar de baja a un nodo de la red sensorial.	49
Figura 20: Secuencia de Operaciones - Recepción de datos.	50
Figura 21: Diagrama de Nivel Superior de la red sensorial inalámbrica.....	50
Figura 22: Arquitectura de la Plataforma de los nodos terminales.....	52
Figura 23: Arquitectura de la Plataforma de Nodos de Infraestructura.....	53
Figura 24: Arquitectura Lógica de Nodos de Altas Prestaciones.	54
Figura 25: Arquitectura General de la Red Sensorial de Monitorización Ambiental.....	57
Figura 26: Clúster de monitorización funcional en modo ad hoc.....	60
Figura 27: Esquema de clústeres de monitorización tipo A de bajas prestaciones.	61
Figura 28: Esquema de clústeres de monitorización tipo A de altas prestaciones.	62
Figura 29: Módulos del SIG de monitorización y control de la Red Sensorial.	67
Figura 30: Arquitectura en tres capas (<i>genérica</i>) para el desarrollo de software.	69
Figura 31: Arquitectura en tres capas del sistema SIGMA.	69
Figura 32: Modelo Entidad Relación de la aplicación SIGMA.....	71
Figura 33: Capas vectoriales de la cartografía utilizada por la aplicación SIGMA.	72
Figura 34: Funcionamiento de MapServer.	72
Figura 35: Capa de Presentación de la aplicación SIGMA.	74
Figura 36: Fuentes de datos procesables en la aplicación SIG.....	74
Figura 37: Requerimientos del Entorno de la Aplicación Genérica SIGMA.	75
Figura 38: Casos de Usos de la Aplicación SIGMA.	76

Figura 39: Diagrama de Detalle de la aplicación SIGMA.....	77
Figura 40: Modelo de Interfaz - Diagrama de Contexto de la aplicación SIGMA.....	78
Figura 41: Radio de Cobertura de Nodos Inalámbricos.	91
Figura 42: Nodo Inalámbrico Emisor y Receptor en comunicación inalámbrica.	91
Figura 43: Mensaje RREQ en enrutamiento AODV.....	92
Figura 44: Mensaje RREP en enrutamiento AODV.....	93
Figura 45: Número de Secuencia en enrutamiento AODV.....	94
Figura 46: Mensajes de Error en enrutamiento AODV.....	95
Figura 47: Modelo Relacional de la aplicación SIGMA.	96

Índice de Tablas

Tabla 1: Indicadores de Política Ambiental Internacional para países de Latinoamérica y el Caribe.....	6
Tabla 2: Situación de desarrollo de cuentas ambientales en América Latina y El Caribe.	7
Tabla 3: Comparativa entre distintos estándares inalámbricos.	22
Tabla 4: Estándares de Comunicación usado por dispositivos que usan tecnología RFID. .	22
Tabla 5: Principales Convenciones Internaciones sobre temáticas Medioambientales	27
Tabla 6: Escala espacial para ejecución de tareas de monitorización.	32
Tabla 7: Escala temporal para ejecución de tareas de monitorización.	32
Tabla 8: Clasificación de las redes sensoriales inalámbricas	36
Tabla 9: Especificación Caso de Uso Inicialización de nodos.	41
Tabla 10: Especificación Caso de Uso Solicitud captura	42
Tabla 11: Especificación Caso de Uso Procesamiento de datos.	43
Tabla 12: Especificación Caso de Uso Envío de mensaje/paquete	44
Tabla 13: Especificación de Caso de Uso Reparametrización de nodos.	45
Tabla 14: Especificación Caso de Uso Análisis de escenario.	46
Tabla 15: Especificación de Caso de Uso Altas de nodos.....	47
Tabla 16: Especificación de Caso de Uso Baja de nodos.....	48
Tabla 17: Especificación Caso de Uso Sensorizar escenario.	49
Tabla 18: Funcionalidades de los tipos de nodos sensoriales que componen la red.	55
Tabla 19: Parámetros de funcionamiento a configurar en nodos sensoriales de la red	56
Tabla 20: Estructura de los grupos presentes en la red sensorial de monitorización.	58
Tabla 21: Tipos de Grupos y Formas de Comunicación entre nodos.....	58
Tabla 22: Variación de la topología en malla.....	64
Tabla 23: Modelo de Enrutamiento híbrido de comunicación entre clústeres.	65
Tabla 24: Principales parámetros climatológicos, fuentes generadoras, posibles escenarios sujetos a monitorización, disponibilidad de alimentación de los nodos y disponibilidad de medios de transmisión de datos.....	86
Tabla 25: Principales parámetros de contaminación acústica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.	86
Tabla 26: Principales parámetros intrínsecos y de contaminación atmosférica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.	87
Tabla 27: Principales parámetros intrínsecos y de contaminación edafológica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.	88
Tabla 28: Principales parámetros intrínsecos y de contaminación hídrica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.	89
Tabla 29: Requerimientos de fuentes de carga y medio de transmisión de datos de la red sensorial inalámbrica según las condiciones y escenarios de monitorización.....	90

Acrónimos

Siglas	Definición
3G	3 Generation, Tercera Generación (Telefonía Móvil).
AD-HOC	Red Inalámbrica.
AJAX	Asynchronous JavaScript And XML, JavaScript asíncrono y XML
AODV	Ad hoc On-Demand Distance Vector.
API	Application Programming Interface, Interfaz de Programación de Aplicaciones.
CDMA	Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CGI	Common Gateway Interface, Interfaz de Entrada Común.
CPU	Central Process Unit, Unidad Central de Procesamiento.
CSS	Cascading Style Sheets, Hoja de Estilos en Cascada.
dB	Decibelio.
DCA	Distributed Clustering Algorithm, Algoritmo de Clustering Distribuido.
DMCA	Distributed Mobility-Adaptive Clustering, Algoritmo de Clustering Distribuido Adaptable a la Movilidad.
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector.
EPA	Environmental Protection Agency of EEUU, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
GHz	Gigahertz, Gigahercios.
GML	Geography Markup Language, Lenguaje de Mercado Geográfico.
GPRS	General Packet Radio Service, Servicio General de Paquetes Vía Radio.
GPS	Global Position System, Sistema de Posicionamiento Global.
GSM	Global System for Mobile Communications, Sistema Global para Comunicaciones Móviles.
HTML	Hypertext Markup Language, Lenguaje de Mercado de Hipertexto.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol, Protocolo de Transferencia de Hipertexto.
I/O	Input/Output, Entrada/Salida.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
ISO	International Organization for Standardization, Organización Internacional de Estandarización

IP	Internet Protocol, Protocolo de Internet.
ISM	Industrial, Scientific and Medical, Industrial, Científica y Médica.
JVM	Java Virtual Machine, Máquina Virtual de Java.
LAN	Local Area Network, Red de Área Local Inalámbrica.
MAC	Medium Control Access, Control de Acceso Medio.
MAN	Metropolitan Area Network, Red de Área Metropolitana.
Mbps	Mega Bits por Segundo.
MIT	Massachusetts Institute of Technology, Instituto Tecnológico de Massachusetts
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OSI	Open System Interconnection, Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos.
PAN	Personal Area Network, Red de Área Personal.
PHP	Hypertext Preprocessor, Procesador de Hipertextos.
RFID	Radio Frequency IDentification, Identificación por Radio Frecuencia.
RREP	Route Reply, Respuesta a Encaminamiento.
RREQ	Rout Request, Solicitud de Encaminamiento.
RERRR	Rout Error, Error de Encaminamiento.
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, Control de Supervisión y Adquisición de Datos
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SIGMA	Sistema de Información Geográfico de Monitorización Ambiental.
SMBD	Sistema Manejador de Base de Datos
SMS	Short Message Service, Servicio de Mensajes Cortos
SoC	System On Chip, Sistema en Circuito.
SQL	Structure Query Language, Lenguaje Estructurado de Consulta.
SSID	Service Set IDentifier, Servicio de Identificación de Conjunto.
USB	Universal Serial Bus, Bus Universal en Serie.
UPS	Uninterruptible Power Supply, Sistema de Alimentación Ininterrumpida.
WAN	Wide Area Network, Red de Área Extendida.
WCA	Weighted Clustering Algorithm, Algoritmo de clustering distribuido basado en valores de peso.
WiFi	Wireless Fidelity, Fidelidad Inalámbrica.
WLAN	Wireless Local Area Network, Red Inalámbrica de Área Local.
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network, Red Inalámbrica de Área Metropolitana.
WPAN	Wireless Personal Area Network, Red de Área Personal Inalámbrica.
WSN	Wireless Sensor Network, Red de Sensor Inalámbrica.
WWAN	Wireless Wide Area Network, Red Inalámbrica de Área Extendida.
XML	Extensible Markup Language, Lenguaje de Marcas Extensibles.

Glosario

Término	Definición
Backbone	Un Backbone de comunicación consiste en varios clusterheads conectados directamente entre sí o por medio de nodos gateway, que facilite: funciones de acceso al canal, uso del ancho de banda, consumo de energía en los nodos.
Broadcast	Transmisión de un paquete que será recibido por todos los dispositivos en una red.
Clúster	Conjunto de nodos interconectados entre sí (para este caso, mediante enlaces radio) que comparten un medio y unas características para la transmisión y recepción de datos, comunes.
Clusterhead	Nodo que tomará decisiones referentes al canal a utilizar en el clúster al que pertenece (en función al algoritmo utilizado).
Gateway	Dispositivo, con frecuencia una computadora, que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación.
Host	Ordenador que funciona como el punto de inicio y fin de las transferencias de datos.
IRIDIUM	Constelación de 66 satélites de comunicaciones que giran alrededor de la Tierra en 6 orbitas bajas LEO a una altura aproximada de 780 Km de la tierra.
Multicast	Envío de la información en una red a múltiples destinos simultáneamente.
Nodo Vecino	Nodo que está como máximo a un salto de un mismo nodo.
PostGist	Extensión que añade soporte de objetos geográficos a PostgreSQL y permite realizar análisis mediante consultas SQL espaciales o mediante conexión a aplicaciones SIG.
PostgreSQL	Sistema de gestión de base de datos relacional orientada a objetos y libre, publicado bajo la licencia BSD.
Router	Dispositivo de hardware usado para la interconexión de redes informáticas que permite asegurar el direccionamiento de paquetes de datos entre ellas o determinar la mejor ruta que deben tomar.

Resumen

El desarrollo de la microelectrónica en los últimos años ha dado origen a una nueva era en el mundo de la tecnología Informática y de Telecomunicación. Nuevos avances en miniaturización permiten contar hoy en día con dispositivos sensoriales de tamaño reducido que pueden conectarse de manera inalámbrica y transmitir datos para su respectivo análisis. Esto ha impulsado el desarrollo de las redes sensoriales inalámbricas y su aplicación en diversas áreas para monitorizar un entorno en el instante en que se lo requiera.

Una red sensorial inalámbrica aplicada en el campo medioambiental es capaz de solucionar multitud de problemas. Específicamente, el presente trabajo de investigación propone una plataforma polivalente basada en nodos sensoriales inalámbricos para medir los principales parámetros de contaminación atmosférica, hídrica, edafológica y acústica, con el objetivo de disponer de datos actualizados de interés para los organismos locales competentes en temas medioambientales.

El trabajo parte de la investigación bibliográfica de proyectos específicos que han medido magnitudes de condiciones ambientales, los cuales sirvieron para analizar y definir los posibles escenarios, condiciones (*disponibilidad de energía y señal de comunicación*) y escalas espacial-temporal de monitorización donde la red podría actuar. Mediante la colaboración de un técnico en Gestión Ambiental y Biología Marina, se determinaron los principales parámetros de contaminación de cada uno de los elementos del Medioambiente sujetos a estudio.

Finalmente, la investigación provee del diseño detallado de la red ad hoc de monitorización medioambiental de topología mixta (*plana y jerárquica*) dotada de

características como la escalabilidad y bajo coste de consumo energético; capaz de actuar en los diversos escenarios definidos en la fase de análisis y cubriendo las distintas escalas espaciales y temporales de monitorización.

Adicional a ello, se efectuó el diseño de la aplicación SIGMA, un Sistema de Información Geográfica que tiene las funcionalidades de recepción, almacenamiento, visualización y emisión de informes sobre las condiciones actuales de contaminación de aire, suelo, agua y de ruido, que permitan al usuario realizar un análisis comparativo en función de los Límites Permisibles de Contaminación en la localidad donde se haya implementado la infraestructura.

Palabras clave: Red sensorial inalámbrica, nodo sensor, monitorización, Medioambiente, Sistema de Información Geográfica.

Abstract

The development of the microelectronic in the last years has originated to a new age in the Information Technology and Telecommunication. Nowadays, new advances in miniaturization have allowed dispose with sensor devices of small size which can connect wirelessly and transmit data for their analysis. This has helped to develop the wireless sensor networks and their application in different areas to monitor an environment just in time when is required.

The application of a wireless sensor network in the Environment area can solve many problems. Specifically, this thesis proposes a versatile platform based on wireless sensor nodes to capture measures of the main parameters of air, water, soil and noise pollution, with the objective of provides update data for local organizations related in Environment topics.

The work begins with a review of bibliography and research projects which have measured magnitudes of environment conditions and help to analysis and define the possible scenarios, conditions (*energy and signal communication availability*) and spatial-temporary scales of monitoring where the network could act. With the assistance of an Environment Management Engineer and a Biologist identified the main pollution parameters of each of the element of the Environment element to study.

Finally, this project provides a detailed design for an ad-hoc network designed for environmental monitoring with a mixed topology (*plane and hierarchical*) that provides capabilities as scalability, self-organization, energy low

cost; including the functionality to act on all scenarios defined in the analysis phase and covering the different special and temporary scales of monitoring.

In addition, we have addressed the design of SIGMA, a Geographic Information System which has functionalities of receiving, storage, display and issuing reports of the current conditions of air, soil, water and noise pollution to help to the user to perform a comparative analysis depending of the permissible limits in the locality where the infrastructure have been implemented.

Key Words: Wireless sensor network, sensor node, monitoring, Environment, Geography information system.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Microelectrónica y la Computación ha provocado que en los últimos años exista una variedad de productos tecnológicos y de telecomunicaciones cada día más sofisticados y dotados de los recursos necesarios que les permiten procesar y almacenar grandes volúmenes de información. Esto se debe principalmente a la demanda de los usuarios por suplir la necesidad de permanecer comunicados en cualquier momento y desde cualquier parte del mundo.

La tendencia tecnológica actual ha permitido que la población se mantenga informada de los sucesos que acontecen en el mundo gracias a las redes de telecomunicaciones como la telefonía inalámbrica o Internet. Este hecho ha cambiado la cultura y los hábitos del ser humano de tal manera que el desarrollo de nuevos sistemas cada vez más autónomos es indispensable para solucionar tareas a nivel organizacional y en la vida cotidiana.

Una de las diez tecnologías avanzadas que cambiarán el mundo, según el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), son las redes inalámbricas de sensores inteligentes (Wireless Sensor Networks, WSN). Se trata de la constitución de macro redes ad-hoc formadas por un gran número de sistemas y dispositivos electrónicos dotados de inteligencia propia, capaces de organizarse a sí mismos y de interconectarse e intercambiar información entre sí, sin necesidad de cables y mediante un protocolo de comunicación pre-establecido.

En el área medioambiental, las redes de sensores inalámbricas pueden ser aplicadas en la automatización de tareas relacionadas con la monitorización continua y en tiempo real de las condiciones ambientales en un determinado espacio geográfico de interés. Esto permite conocer los valores de parámetros medioambientales que coadyuvan a realizar a posteriori, estudios de contaminación.

Aunque existen varias Convenciones Internacionales y locales a nivel de países, creadas con el fin de cooperar con la conservación del Medioambiente, muchos Estados no cumplen o aplican las medidas de control adecuadas ante una realidad dinámica y compleja. Las redes sensoriales inalámbricas pueden ser un recurso tecnológico interesante a explorar en este ámbito. Las sociedades, a medida que progresan y se desarrollan, pasan de arrasar sin miramientos su entorno, a intentar preservarlo y mejorar la calidad ambiental del mismo.

Esencialmente, la propuesta del presente trabajo consiste en analizar y diseñar una red de sensores inalámbricos polivalente aplicable a cualquier espacio geográfico, que permita medir parámetros Medioambientales en tiempo real (**climatológicos, atmosféricos, hídricos, acústicos y edafológicos**) que sirvan de base para ejecutar estudios de contaminación y lograr establecer medidas de control diariamente, a fin de lograr una mejor calidad ambiental en dicho territorio.

1.1. Situación actual de la Contaminación Ambiental

La Revolución Industrial vivida durante el periodo comprendido entre la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX, no solo produjo cambios en la Historia Moderna de Europa en lo relacionado a transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales; al reemplazar la economía basada en el trabajo manual

por otra dominada por la industria y la manufactura, ha originado también graves problemas Medioambientales irreversibles.

Innovaciones tecnológicas como la máquina de vapor y otras más recientes creadas con fines industriales, han sido la causa principal de la proliferación de nuevas fábricas. Si a lo anterior se le añade el incremento de vehículos motorizados, el inadecuado tratamiento de la basura y la quema de bosques y la liberación de sustancias químicas peligrosas (*dióxido de carbono (CO₂)*, *dióxido de nitrógeno (NO₂)* y *dióxido de azufre (SO₂)*) se originan problemas de contaminación atmosférica, los cuales provocan diariamente nuevos casos de enfermedades respiratorias como: *lesiones en los bronquios*, *enfermedades pulmonares*, *asma*, *alergias*, etc.



Figura 1: Emisión de gases contaminantes por la Refinería Estatal de Esmeraldas. **Fuente: Diario La Hora**

Por otro lado, la actividad minera e industrial, el transporte fluvial y marítimo, las redes de alcantarillado y el tratamiento inadecuado de las aguas

residuales, provocan que el agua de ríos y mares cada vez contengan más contaminantes causantes de que la vida acuática llegue a un declive de su biodiversidad.



Figura 2: Contaminación de río por empresa petrolera. Esmeraldas - Ecuador.

Otro problema Medioambiental, que existe a nivel mundial y para el que en muchos países no se han tomado medidas, es la contaminación acústica causada por medios de transportes, electrodomésticos e industrias en actividad. Estos pueden llegar a alterar las condiciones normales del ambiente de una determinada zona e incluso causar daños sobre la salud auditiva, física y mental de las personas, disminuyendo su calidad de vida especialmente cuando sobrepasa los 70 decibelios (dB) permitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).



Figura 3: Contaminación Acústica causada por vehículos motorizados en Esmeraldas - Ecuador. Fuente: Diario La Hora.

A pesar de la existencia de varios tratados internacionales actualmente en vigor sobre el Medioambiente (*La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, y la Agenda 21*), su aplicación es muy cuestionada debido al papel limitado que desempeñan los organismos internacionales de control para obligar a los países a aportar documentos detallados sobre el cumplimiento de los Acuerdos firmados, tal y como se refleja en la **Tabla 1**. Esto ocurre debido al desconocimiento de los valores actualizados de parámetros ambientales (*atmosféricos, hídricos, acústicos y edafológicos*), o la desactualización de ciertos datos obtenidos en estudios específicos realizados años atrás, que no dan pautas para conocer la situación real de la contaminación que existe actualmente en cada país y que tiene repercusión a nivel mundial.

País	Ratificación acuerdos Internacionales		Aplicación AGENDA 21	
	Acuerdos Ratificados	En %	Metas realizadas	En % (ajustado si no aplica)
Antigua y Barbuda	8	72.73	1	5.26
Argentina	10	90.91	5	26.32
Bahamas	9	81.82	9	47.37
Barbados	9	81.82	14	73.68
Belize	8	72.73	0	0.00
Bolivia	11	100.00	7	36.84
Brasil	10	90.91	11	57.89
Chile	9	81.82	13	68.42
Colombia	9	81.82	12	63.16
Costa Rica	10	90.91	12	66.67
Cuba	10	90.91	14	73.68
Dominica	8	72.73	0	0.00
Ecuador	10	90.91	6	31.58
El Salvador	8	72.73	9	47.37
Grenada	7	63.64	0	0.00
Guatemala	10	90.91	0	0.00
Guyana	7	63.64	7	36.84
Haití	5	45.45	2	10.53
Honduras	10	90.91	10	52.63
Jamaica	9	81.82	4	21.05
México	11	100.00	16	84.21
Nicaragua	10	90.91	11	61.11
Panamá	10	90.91	5	26.32
Paraguay	10	90.91	6	35.29
Perú	9	81.82	6	31.58
República Dominicana	7	63.64	2	10.53
San Cristóbal y Nieves	8	72.73	0	0.00
Santa Lucía	8	72.73	4	21.05
San Vicente y las Granadinas	7	63.64	0	0.00
Suriname	7	63.64	5	26.32
Trinidad & Tobago	10	90.91	0	0.00
Uruguay	9	81.82	2	10.53
Venezuela	9	81.82	11	57.89
Promedio	9	80%	6	33%

Tabla 1: Indicadores de Política Ambiental Internacional para países de Latinoamérica y el Caribe. Fuente: Política Ambiental en América Latina y el Caribe Mariana Conde y Vanesa D' Elia. 2008 basado en la UN 2002.

Según estadísticas de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) resumidas en la **Tabla 2**, Ecuador es uno de los países que se encuentra en la lista de aquellos que no poseen publicaciones o no cuentan con información relacionada con el Medioambiente y parámetros de contaminación. Esto conlleva a que no disponga de cuentas ambientales.

Países que están elaborando sistemáticamente cuentas ambientales	Países que se encuentran en proceso de desarrollar cuentas ambientales	Países con interés de desarrollar cuentas ambientales	Países que no tienen proyectos para elaborar cuentas ambientales	Países que tuvieron proyectos de cuentas ambientales pero dejaron de elaborarlos
Colombia México	Guatemala Honduras Panamá República Dominicana	Antigua y Barbuda Bahamas Bolivia Brasil Chile Cuba Jamaica Perú Surinam T. y Tobago	Barbados Cuba Dominica Ecuador El Salvador El Salvador Jamaica Perú Venezuela	Chile Costa Rica

Tabla 2: Situación de desarrollo de cuentas ambientales en América Latina y El Caribe. [CEPAL]

1.2. Esquema del documento

El documento está estructurado en 7 capítulos basados en la metodología de desarrollo de proyectos.

El **capítulo 1: INTRODUCCIÓN**, acerca a la situación actual de la contaminación medioambiental y los avances alcanzados por los países de América Latina y El Caribe en estas temáticas. Incluye además una descripción del beneficio de la tecnología sensorial inalámbrica en procesos de monitorización ambiental.

El **capítulo 2: METODOLOGÍA Y OBJETIVOS**, incluye la justificación de por qué poner en marcha el proyecto, los objetivos que este persigue y la metodología de investigación aplicada.

El **capítulo 3: RED SENSORIAL INALÁMBRICA Y MONITORIZACIÓN MEDIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA**, incluye una breve descripción científica sobre el Medio Ambiente y los parámetros de contaminación atmosférica, hidrológica, edafológica y acústica. Además se describe el estado actual de la tecnología relacionada con las redes sensoriales inalámbricas aplicadas en la monitorización medioambiental a través de Sistemas de Información Geográfica.

El **capítulo 4: ANÁLISIS DE LA RED SENSORIAL**, detalla los parámetros de contaminación atmosférica, hidrológica, edafológica y acústica; de manera que especifica los principales tipos fuentes de contaminación, escalas de monitorización, generadores potenciales de contaminantes y los posibles escenarios de aplicación de la red sensorial. Además, se presenta un análisis de los requerimientos tecnológicos y funcionales de la red.

El **capítulo 5: DISEÑO DE LA RED SENSORIAL**, incluye aspectos relacionados con el diseño de la infraestructura física de la red y las métricas elementales que debe cumplir para su correcto funcionamiento. Las principales métricas consideradas en el diseño de la infraestructura basada en la arquitectura distribuida son: topología, tipos de nodos y parametrización, modelo y configuración de las comunicaciones y protocolo de enrutamiento.

El **capítulo 6: SIGMA – SIG DE MONITORIZACIÓN**, trata aspectos relacionados con el análisis y diseño de la aplicación basada en tecnologías de Sistemas de Información Geográfica, que facilite la gestión de los paquetes capturados por los sensores, monitorización de parámetros medioambientales y estado de los elementos de la red sensorial de forma georreferenciada, emisión de informes y además la generación de históricos y respaldos.

Finalmente, el **capítulo 7: CONCLUSIONES**, expone las conclusiones finales del trabajo de investigación y enfatiza sobre los resultados obtenidos en cada una de las fases desarrolladas.

Capítulo 2

METODOLOGÍA Y OBJETIVOS

2.1. Justificación

Gobiernos de turno de algunos países no le han dado la debida importancia a ciertas temáticas medioambientales consideradas primordiales por los Organismos Internacionales y locales para colaborar con la preservación del entorno. Básicamente lo que están haciendo es produciendo mayores índices de contaminación al incrementar la producción industrial, minera, y de servicios; muchas de las cuales no aplican las normativas acordadas en las convenciones.

El desconocimiento de valores de ciertos parámetros medioambientales, en algunos casos por falta de investigaciones, dan origen a la problemática de no contar con información que relacione los niveles de contaminación que se han originado en una determinada área. Por ello, no se pueden establecer comparaciones en función del tiempo, ni emitir criterios válidos fundamentados con datos reales y actualizados para instituir medidas de control, y obligar a que se apliquen las normativas internacionales y locales en caso de que se cuenten con ellas.

Hoy en día, las redes sensoriales inalámbricas pueden estar presentes en diversas aplicaciones a fin de automatizar ciertos procesos. Estas se pueden emplear para el control de inventarios, control de tráfico, asistencia militar, control médico, etc.; pero específicamente en el área medioambiental pueden llegar a ser capaces de

monitorizar el Medio Ambiente (**medir condiciones del aire, agua, suelo, sonido, clima y otros**), etc. Todo depende de las necesidades que se tengan.

Las **redes sensoriales ambientales** permiten distribuir sensores medioambientales en la zona a estudiar y tomar muestras que pueden ser consultadas en tiempo real, desde cualquier lugar con conexión a una red como Internet o telefónica. Así se puede monitorizar parámetros que sirvan para conocer la situación verídica de la **contaminación atmosférica, acústica, hídrica, edafológica y otras**; lo que hace posible que se tenga una red polivalente de altas prestaciones.

Por lo anteriormente expuesto, y basado en la línea de Robótica Computacional, **en el presente estudio se propone el diseño de una infraestructura que contribuirá en la adquisición de muestras de parámetros ambientales relacionados con el aire, agua, suelo y acústica; aplicable en una determinada área geográfica, capaz de monitorizar en tiempo real y de forma georeferenciada dichos parámetros.** Con la ayuda de la plataforma, se podrán desarrollar investigaciones en este tipo de temáticas y además conocer con exactitud los niveles de contaminación de los elementos ambientales y la calidad de los mismos, para establecer los controles adecuados y oportunos que disminuyan el impacto negativo en la población y la repercusión que pueda tener sobre el planeta.

2.2. Objetivos

General

- Diseñar una infraestructura tecnológica polivalente basada en sensores inalámbricos aplicada a la monitorización georeferenciada de parámetros medioambientales.

Específicos

- Identificar los principales parámetros medioambientales y los posibles escenarios de captura de datos.
- Analizar los requerimientos de la red sensorial inalámbrica para monitorizar los parámetros ambientales elementales (**climatológicos, atmosféricos, acústicos, hídricos y edafológicos**) según los posibles escenarios de aplicación.
- Diseñar la infraestructura física, lógica y de comunicaciones de la red de sensores inalámbricos y del centro de control.
- Diseñar un prototipo de la aplicación basada en la tecnología web mapping que permita administrar la red sensorial y facilite la captura, almacenamiento y análisis de los parámetros medioambientales obtenidos de los sensores de forma georreferenciada.

2.3. Metodología

El presente estudio está dentro de la categoría descriptiva y metodológica ya que en primera instancia indaga sobre los aspectos teóricos de medición, recolección y análisis de parámetros ambientales para posteriormente describir la realidad y los requerimientos en base a los Estándares de Calidad Medioambiental vigentes en la actualidad.

El desarrollo de la investigación parte de la identificación de los principales parámetros ambientales relacionados con la contaminación atmosférica, hídrica, edafológica y acústica; incluidos también los posibles escenarios de captura de datos. Para ello se realiza una revisión bibliográfica específica en el área de Biología, Ecología y entrevistas con especialistas en Gestión Ambiental.

Posterior a ello, y en base a los parámetros ambientales sujetos de medición en los distintos entornos posibles de captura, se procederá a realizar un análisis de los requerimientos de la red sensorial basada en la comunicación inalámbrica. Dicho análisis está basado en proyectos de medición manual ejecutados en países de América Latina. De esta manera, se dispondrá de la tecnología de comunicación adecuada para llevar a cabo las transmisiones de datos considerando las posibles limitaciones del entorno de aplicación y llevando a cabo estrategias que optimicen el tiempo de respuesta necesario para el envío de datos desde un nodo terminal hasta el nodo central en tiempo real.

Después de conocer la tecnología necesaria para el funcionamiento de la red sensorial, se continúa con el diseño de la infraestructura física de la red de manera que se identifique: tipos de nodos y su reparametrización, la topología, arquitectura y modelo de las comunicaciones entre clústeres que formen la red para la transmisión de datos hacia el servidor del centro de control.

Finalmente, se procede a diseñar un prototipo de una aplicación SIG adaptable a cualquier área geográfica de monitorización a fin de que el proceso de gestión de la red y monitorización de los parámetros de contaminación se realice de forma georeferenciada y de manera práctica y sencilla para un usuario no experto en sistemas. La aplicación almacenará y mostrará los datos capturados por cada sensor instalado y emitirá alertas basado en los Límites Máximos Permisibles.

Capítulo 3

RED SENSORIAL INALÁMBRICA Y MONITORIZACIÓN GEORREFERENCIADA

3.1. Introducción

Las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) permiten hoy en día conectar redes de sensores con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para facilitar el proceso de monitorización medioambiental de forma georreferenciada.

El presente capítulo incluye una revisión bibliográfica relacionada con las Redes de Sensores Inalámbricas aplicadas en la monitorización medioambiental, cuando la información es gestionada a través de las tecnologías que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica.

3.2. Red Sensorial

Una red sensorial¹ consiste en un conjunto de dispositivos nodales que intercambian información entre ellos mediante un protocolo de comunicación, y sirven para monitorizar cooperativamente las medidas que realizan sobre determinados parámetros físicos y su control.

¹ Implementación de una red sensorial inalámbrica (WSN).

3.2.1. Componentes

Cada uno de los nodos que forman la red, contienen sensores y actuadores, un procesador que controla su funcionamiento, una unidad de memoria que sirve para almacenar las lecturas de los sensores, una batería y un transceptor encargado de la comunicación, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4: Componentes de un nodo de una red sensorial.

- **Sensores:** Componentes del nodo que permiten detectar o capturar parámetros que se desea medir. En función de los requerimientos energéticos los sensores utilizados en la plataforma de monitorización pueden clasificarse en varias modalidades: Modalidad de baja potencia (*fotodetector en sensor de luz, Ambientales, acelerómetro de dos dimensiones*), Modalidad de media potencia (*detector acústico de umbral, magnetómetro*), Modalidad de alta potencia (*sensor de imagen, sensor de video, sensor de forma de rayo, etc.*).
- **Unidad de Procesamiento:** Componente compuesto por un *microprocesador* que se encarga del procesamiento dentro del nodo, y la *unidad de almacenamiento* que se ocupa de guardar los datos, previo al envío de éstos hacia el nodo central.
- **Módulo Radio:** Dedicado a enviar y recibir mensajes dependiendo de ello el consumo de energía del nodo.

- **Transductor:** Componentes en un nodo que se usa para transformar una forma de energía en otra.
- **Batería:** Es el componente encargado de suministrarle la energía al nodo mediante el uso de baterías.

Los nodos actuales pueden incorporar adicionalmente un **subsistema de obtención de energía** del medio que le permita mantenerse en funcionamiento sin necesidad de batería.

3.2.2. Tipos de Nodos

En una red sensorial se pueden distinguir diferentes tipos de nodos, cada uno de los cuales realiza tareas determinadas. Según la tecnología ZigBee, una de las utilizadas en redes sensoriales inalámbricas, una red puede estar constituida de nodos de infraestructura (*coordinador o ruteador*) y nodos terminales:

- **Coordinador:** Dispositivo de altas prestaciones que se encarga de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. Es capaz de comunicarse con redes de distintos protocolos.
- **Ruteador (Router):** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación sobre el que se ejecuta código de usuario.
- **Dispositivo Terminal:** Denominado también mota (mote). En general se trata de un nodo que integra un microcontrolador de muy bajo consumo al que se conectan sensores para monitorizar el entorno. Posee la funcionalidad que le permite comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías.

3.3. Red Sensorial Inalámbrica

Un sistema de sensores inalámbricos WSN (Wireless Sensor Network) es una red con numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos intercambiando información entre sí sin necesidad de cables y mediante un protocolo de comunicación preestablecido.

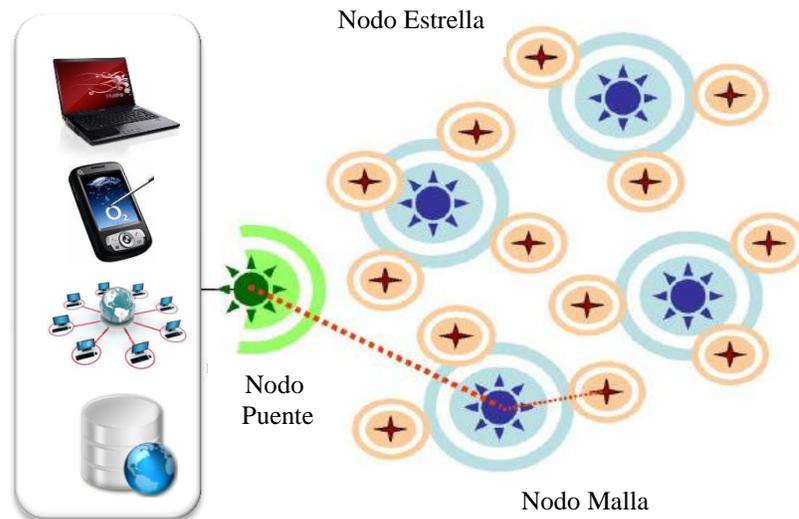


Figura 5: Esquema de una red de sensores inalámbricos.

3.3.1. Topologías

Considerando las limitaciones de la vida útil de las baterías de los nodos que forman una red sensorial, los nodos deberían estar en capacidad de auto organizarse según una determinada topología (ver **Figura 6**):

- **Topología de red en estrella:** Los nodos inalámbricos se comunican con un nodo de infraestructura que hace de puente de comunicación con una red cableada, telefónica móvil o satelital.
- **Topología de red en malla:** Se tienen dispositivos enrutadores que comunican con el nodo de infraestructura. De esta manera los sensores a utilizar pueden ser sencillos y de baja potencia debido a que solo necesitan establecer la comunicación punto a punto con los enrutadores mejorando el rango y la redundancia de la propia red.
- **Topología en Árbol:** Una combinación de las topologías de bus y estrella. Un conjunto de nodos configurados como estrella se conectan a una dorsal (*backbone de comunicación*).

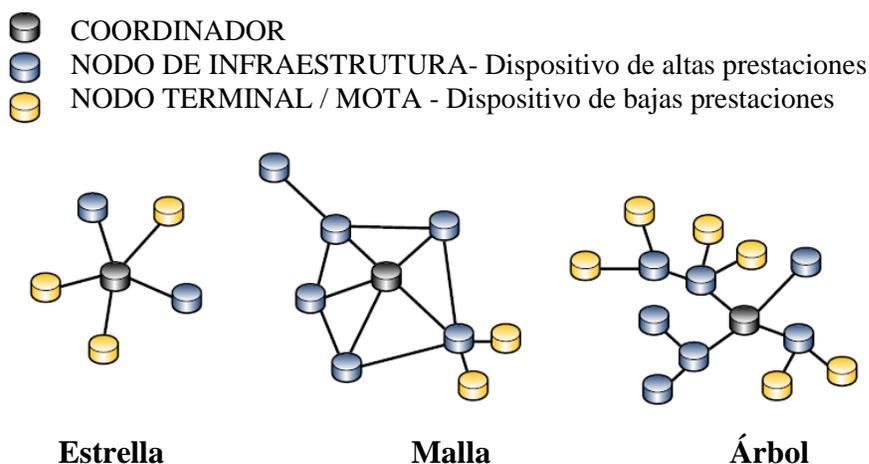


Figura 6: Topologías comunes en las redes de sensores inalámbricos.

3.3.2. Estándares de Comunicación

Una red sensorial inalámbrica establece conexión de nodos por medio de ondas electromagnética sin necesidad de una conexión física. Dichos enlaces se logran mediante la aplicación de alguno(s) de los estándares para la tecnología inalámbrica. Entre los principales estándares utilizados por los dispositivos que ofrece el actual mercado tecnológico figuran:

- **Bluetooth:** Es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos de bajo consumo, mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz.
- **IEEE802.11:** La especificación IEEE 802.11 (*Wi-Fi*) es un estándar internacional que define las características de una red de área local inalámbrica (WLAN) de alta velocidad siempre y cuando el equipo no esté muy alejado del punto de acceso. Wi-Fi es el nombre de la certificación otorgada por la Wi-Fi Alliance, que garantiza la compatibilidad entre dispositivos que utilizan dicho estándar.
- **ZigBee 802.15.4:** Es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal (WPAN) con tasas bajas de transmisión de datos. Ha servido de base para definir la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

- **IEEE802.16:** Se trata de una especificación para las redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN) de banda ancha fija. En esencia recoge el estándar de facto WiMAX, una implementación de éste estándar capaz de transmitir señales a distancias tan lejanas como 30 millas.
- **IEEE802.20:** Acceso Inalámbrico de Banda Ancha Móvil, es una especificación utilizada para redes inalámbricas móviles de acceso a Internet. De manera general, viene a ser el estándar 802.16 pero en movimiento.
- **GSM/GPRS:** El servicio general de paquetes vía radio (GPRS) es un sistema estándar y libre de regalías, de telefonía móvil considerado como una extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes).
- **CDMA:** El acceso múltiple por división de código (CDMA) es una interfaz de aire inalámbrica de telefonía móvil desarrollada por la empresa Qualcomm, y aceptada posteriormente como estándar por la TIA norteamericana bajo el nombre IS-95.

A continuación, las **Tablas 3 y 4** muestran las características técnicas de los estándares descritos, y la **Figura 7** esquematiza su aplicación de acuerdo al área de cobertura de la red inalámbrica.

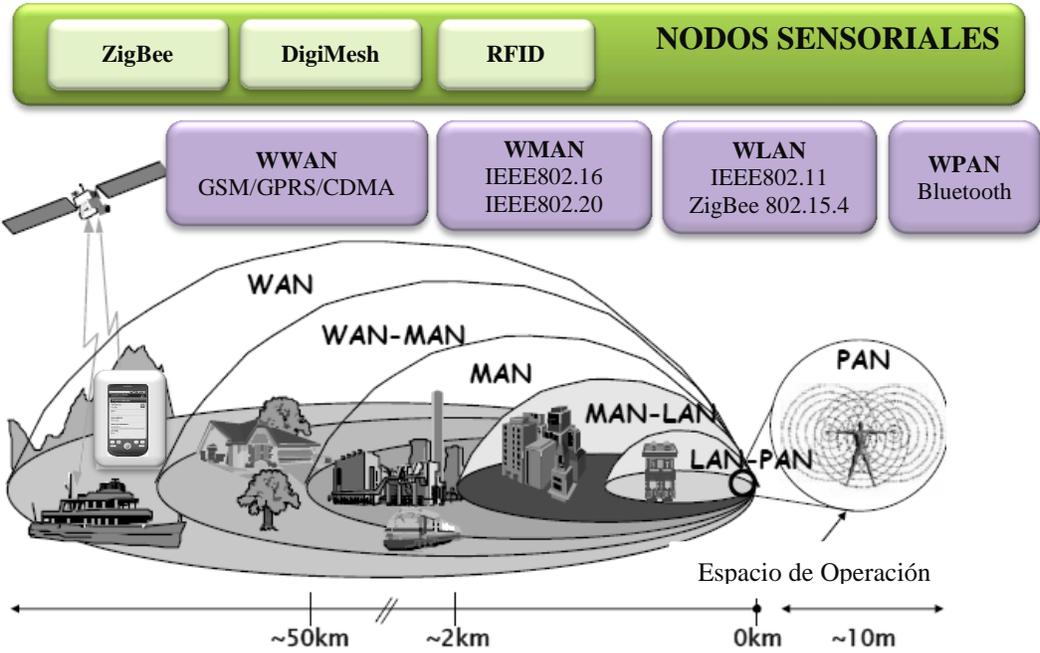


Figura 7: Sistemas de Comunicación Inalámbrica de última generación. Fuente: IEEE.

Estándar	WI-FI 802.11g	WI-FI 802.11b	Bluetooth 802.15.1	ZigBee IEEE 802.15.4
Aplicación principal	WLAN	WLAN	WPAN	Control y Monitorización
Memoria necesaria	1MB+	1MB+	250kB+	4KB-32KB
Vida Batería (días)	0.5 - 5	0.5 - 5	1 - 7	100 - 1000+
Tamaño Red	32 nodos	32 nodos	7	255 / 65000
Velocidad (kbps)	54Mbps	11Mbps	720 Kbps	20 - 250 Kbps
Cobertura (metros)	100	100	10(v1.1)	1-100
Parámetros más importantes	Velocidad y Flexibilidad	Velocidad y Flexibilidad	Coste y perfiles de aplicación	Fiabilidad, bajo consumo y muy bajo coste.
Banda de Frecuencia utilizada	2.45 GHz	2.45 y 5.8 GHz	2.45GHz	2.4GHz

Estándar	VIMAX IEEE 802.16	IEEE 802.20	PCS/GSM
Aplicación principal	WMAN	WMAN	WWAN Telefonía Móvil
Consumo de Batería	Bajo Consumo	Bajo Consumo	Bajo Consumo
Velocidad (kbps)	30 Mbps	> 1 Mbps	115 kbps (GPRS) 384 kbps (EDGE) 2 Mbps (3G)
Cobertura (metros)	2 a 5 km	25 km	1000 m.
Parámetros más importantes	Área metropolitana	Redes Inalámbricas de banda ancha, movilidad 250km/h	Datos y voz en móviles
Banda de Frecuencia utilizada	2-11 GHz	< 3.5 GHz	0,9 - 1,8 - 1.9 – 2.2 GHz

Tabla 3: Comparativa entre distintos estándares inalámbricos. Fuente: WIRELESS SENSOR NETWORKS, María Escobar.

Los dispositivos basados en la tecnología RFID no usan un estándar específico. La aplicación de un estándar de comunicación actualmente depende del fabricante del producto. Hasta que se resuelva la situación, se recomienda utilizar el estándar ISO debido a se centra en el protocolo de comunicación asignado a los dispositivos.

Banda de frecuencias	Nombre del estándar	Detalles
Menos de 135 KHz	ISO 18000-2	-
6,765 ~ 6,795 MHz	-	-
7,4 ~ 8,8 MHz	-	-
13,55 ~ 13,57 MHz	ISO 18000-3	Uso común
26,96 ~ 27,78 MHz	-	Aplicaciones especiales
433MHz	ISO 18000-7	Tarjetas activas en Asia
868 ~ 870 MHz	ISO 18000-6 A/B	Europa
902 ~ 928 MHz	AutoID clase 0/1	Norteamérica
860 ~ 960 MHz	EPCGlobal Gen2	Mundial
2400 ~ 2483 MHz	ISO 18000-4	-
8725 ~ 5785 MHz	ISO 18000-5	Usado raramente en RFID

Tabla 4: Estándares de Comunicación usado por dispositivos que usan tecnología RFID.

3.4. Monitorización

La monitorización es un proceso que hace referencia a la supervisión necesaria para la ejecución del plan de acción establecido en la planificación de las acciones, conductas o pensamientos encaminados al logro de una meta. Además, puede detectar las posibles interferencias que pudieran presentarse en el curso de alguna acción y puede dar lugar a corregir el procedimiento antes de llegar a un resultado final.

3.4.1. Objetivos que persigue la monitorización

Los siguientes objetivos son los principales que se plantea un proyecto relacionado con la monitorización ambiental²:

- Establecer bases científicas para políticas de desarrollo.
- Determinar la congruencia con las normas y los criterios legales.
- Estimar los efectos en la población y en el ambiente.
- Informar al público acerca de la calidad del ambiente.
- Proporcionar información de fuentes y riesgos de contaminación.
- Llevar a cabo evaluaciones de tendencias a largo plazo.
- Medir los efectos de las medidas de control en la calidad del Medioambiente.
- Estudiar las reacciones químicas de los contaminantes con otros elementos presentes en el medio.
- Calibrar y evaluar modelos de dispersión de contaminantes en el Medioambiente.

² Estrategias de Monitoreo, disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/intromon/cap2.pdf>

3.4.2. Tipos de Monitorización

Durante el proceso, se debe tomar en cuenta el área de influencia, ya que los objetivos de monitorización determinarán áreas o localidades delimitadas en donde se llevarán a cabo los estudios, agrupándose en:

- **Muestreos de un área o región determinada:** Se enfocan principalmente a establecer el nivel de contaminación de una o varias localidades o de una región determinada, lo cual nos permite conocer la exposición de la población, vegetación, materiales y propiedades de la misma.
- **Muestreos de la contaminación causada por fuentes emisoras.**
 - Fijas:* Se consideran como fuentes fijas a aquellas que se encuentran establecidas en un lugar determinado y su emisión se produce siempre en este mismo lugar. El estudio se limita a su área de influencia pudiendo ir desde una industria en particular hasta un vertedero de basura o un área agrícola.
 - Móviles:* Las fuentes móviles son aquellas que cambian su ubicación con respecto al tiempo. Estudios orientados al tráfico vehicular involucrarán monitorización a lo largo de las carreteras y en las zonas aledañas a ellas.

3.5. Medio Ambiente

Según la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medioambiente de 1972, Medioambiente es el: “conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas”.

Los elementos que forman el Medioambiente son: aire, agua, suelo, flora y fauna; los cuales se ven afectados por el hombre, los procesos industriales y los fenómenos naturales que ocurren en la Tierra.

La preocupación por el Medioambiente tiene su origen en el aprecio del paisaje por los pintores desde el Renacimiento; pero, no fue sino hasta la segunda mitad del siglo XX que surgió el tema ambiental como una materia de interés científico, político y público [1]. Ello se debió a que se originaron una serie de catástrofes: *el envenenamiento por mercurio en Japón (1950-60)*, *muerte de 4000 personas en Londres por contaminación atmosférica (1952)* y *la muerte masiva de aves causadas por DDT en los Estados Unidos*. Entonces, en 1970 los Estados Unidos crea la Agencia de Protección Ambiental y dos años más tarde, la Comunidad Europea adopta una política Medioambiental.

Por otra parte, la publicación “Nuestro Futuro Común” establece el término “Desarrollo Sostenible” que implica el uso responsable de los recursos naturales y la prevención de la contaminación (Brundtland, 1987). De allí que gobiernos y empresas han adoptado normas de gestión ambiental basada en la Norma Británica BS-7750 de 1992.

3.5.1. Parámetros Ambientales

Son diversos los parámetros ambientales que se pueden medir, en general, la inclusión de algunos de ellos depende de los objetivos, alcance y recursos de cada estudio. Aquellos que determinan principalmente la calidad del Medio Ambiente se muestran en el **Anexo A**.

3.5.2. Factores Contaminantes

La contaminación³ es la alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente totalmente ajeno a ese medio (contaminante), causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química, energía (como reactividad, sonido, calor o luz), o incluso una entidad de carácter biológico.

La contaminación del Medioambiente es siempre una alteración negativa del estado natural del medio, y por lo general, se genera como consecuencia de la actividad humana. En el **Anexo A** se describen los principales agentes que provocan la contaminación Medioambiental.

3.5.3. Normativas Medioambientales

El Derecho Internacional relacionado con cuestiones ambientales ha adquirido importancia progresivamente en los últimos años dada la mayor toma de conciencia, por parte de la opinión pública, de que muchos problemas ambientales pueden traspasar las fronteras de los países, o tienen un alcance tan global que no es posible hacerles frente sólo por medio de leyes de alcance nacional. Por ello, los tratados y convenciones entre distintos países, son hoy la principal fuente de leyes ambientales internacionales.

³ Merriam-Webster Dictionary – Definición de Contaminación.

Desde comienzos del siglo XX vienen firmándose tratados sobre lo que hoy se denominan cuestiones ambientales. Éstos aumentaron en número y alcance a partir de la II Guerra Mundial. Entre los más importantes se encuentran los recogidos en la siguiente tabla:

Año	Acuerdo
1954	Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Petróleo de los Mares.
1960	Convención de París sobre la responsabilidad de terceras partes en el campo de la energía nuclear.
Principales tratados sobre el Medio Ambiente - Conferencia de Estocolmo	
1974	Convención para la Prevención de la Contaminación del Mar desde estaciones situadas en tierra.
1979	Convención sobre la Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia.
1985	Convención para la Protección del Nivel de Ozono.
1989	Convención para el Control de los Desplazamientos Transfronterizos de Residuos Peligrosos y su eliminación.
Cumbre sobre la Tierra, Río de Janeiro en 1992 convocada por las Naciones Unidas.	
1992	Convención Marco sobre el Cambio Climático.
Otros Convenios	
2004	Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.
2004	Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
2004	Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo a ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional.

Tabla 5: Principales Convenciones Internacionales sobre temáticas Medioambientales

Aunque existen muchos tratados internacionales en vigor sobre el Medio Ambiente, su aplicación efectiva sigue siendo un importante desafío para la comunidad mundial, mucho más porque el Tribunal Internacional de Justicia de Naciones Unidas sólo puede desempeñar un papel limitado como árbitro de las disputas entre los diferentes países. Por ello, en la Cumbre sobre la Tierra de 1992, la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, y la Agenda 21, se traza un programa de medidas ambientales a tomar en cuenta hasta los primeros años del siglo XXI.

3.6. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En la actualidad, se pueden aprovechar los beneficios de las Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación fusionando las Redes Sensoriales y los Sistemas de Información Geográfica; de esta manera se obtiene una herramienta fiable, capaz de contribuir de forma positiva en diferentes líneas. Entre ellas, el facilitar las tareas de gestión de los datos capturados por los sensores de forma georreferenciada, mejorar la presentación de la monitorización de los parámetros medioambientales, permitir el acceso a cierta información desde la Web a usuarios externos, mantener un inventario de los recursos que forman parte de la plataforma geolocalizando cada elemento. Además puede permitir emitir mensajes de alertas a organismos locales del Medioambiente y planificar también acciones de control ambiental.

Una definición orientada a la funcionalidad, considera a un SIG como un **“sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión”** (NCGIA, 1990).

3.6.1. Características

- Funcionalidad similar a una base de datos sofisticada, en la que se mantiene y relaciona información espacial y temática.
- Unifica la información en estructuras coherentes y aplica a la misma una panoplia variada de funciones: análisis, visualización (*información geográfica compleja a través de mapas*) y edición.
- Integrador y abierto, maneja información con propósitos diversos.

3.6.2. Componentes

Los principales componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se ilustran en la siguiente figura:

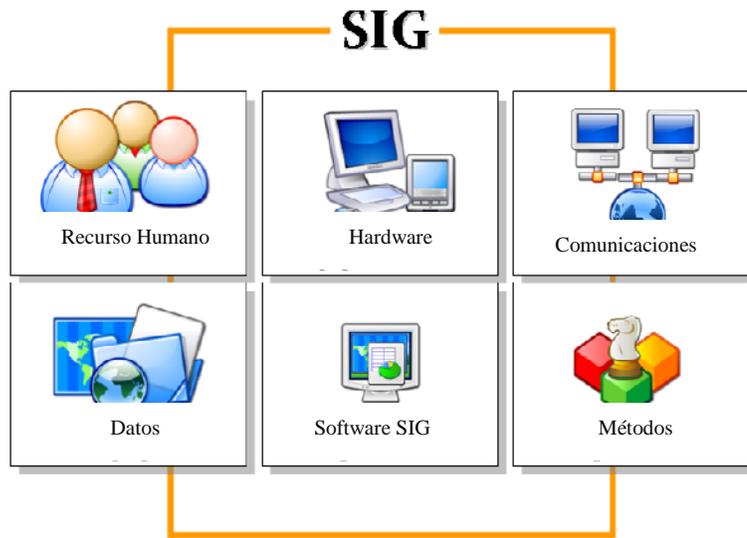


Figura 8: Componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG)

- **Hardware:** Equipos donde el SIG opera, captura o digitaliza los datos geográficos. Puede ir desde un servidor de mapas hasta un ordenador personal que trabajan en red, o un GPS.
- **Software:** Componente que provee las funciones y herramientas necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica. Una herramienta para el desarrollo de SIG debe incluir: un sistema de manejo de base de datos (SMBD), herramientas para el ingreso y manipulación de información geográfica, herramientas de soporte para consultas, análisis y visualización geográficos y una interfaz gráfica del usuario para fácil acceso a las herramientas.

- **Datos:** Es uno de los componentes más importantes y por tanto una herramienta SIG emplea un SMBD para crear y mantener una base de datos para ayudar a organizar y manejar estos datos.
- **Métodos:** Constituido por los modelos y prácticas operativas implementadas en cada organización y que sirven de apoyo a la hora de diseñar el SIG.
- **Personal:** Constituido por los usuarios del SIG que van desde los especialistas técnicos que diseñan y mantienen el SIG hasta aquellos que lo utilizan como herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

Capítulo 4

ANÁLISIS DE LA RED SENSORIAL INALÁMBRICA

4.1. Análisis de Requerimientos

Tomando en cuenta que la red sensorial inalámbrica propuesta es básicamente una infraestructura que permite monitorizar parámetros ambientales de **contaminación atmosférica, hídrica, edafológica y acústica** en función del espacio y del tiempo, es indispensable contar con los siguientes requerimientos de información, tecnológicos y funcionales:

REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN

- Parámetros ambientales de contaminación atmosférica, hídrica, edafológica y acústica que los nodos de la red sensorial inalámbrica deben capturar.
- Datos climatológicos, los cuales pueden ser capturados con la red o ser obtenidos de estaciones meteorológicas disponibles en el área a monitorizar.
- Escalas de monitorización espacial y temporal definidas.
- Conocimiento relacionado con la disponibilidad de fuentes de alimentación y medios inalámbricos de transmisión de datos.

REQUERIMIENTOS TECNOLÓGICOS

- Aspectos relevantes de la tecnología sensorial inalámbrica a utilizar según escenarios de monitorización.

REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

- Principales actores y forma de interactuar con la red sensorial inalámbrica.
- Procesamiento de datos en la red de sensores.

4.1.1. Parámetros ambientales sujetos a medición

El **Anexo A** muestra cada uno de los elementos ambientales en cuestión, los parámetros, los tipos de fuentes y posibles escenarios donde la red debe monitorizar.

4.1.2. Escalas de Monitorización

El proceso de monitorización se regirá por las siguientes **escalas espacial** (*ámbito a ser monitoreado*) y **temporal** (*frecuencia con que se efectúan los registros de la monitorización*), definidas de acuerdo con la propuesta de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA).

Escala	Definición
Micro	Área hasta 100 m.
Media	Área entre 100 m y 0.5 km
Local	Área entre 0.5 y 4 km
Urbana	Condiciones de ciudad entre 4 y 50 km
Regional	Área rural: decenas - cientos de km
Nacional y Global	Estado o mundo

Tabla 6: Escala espacial para ejecución de tareas de monitorización.

Escala	Definición
Interanual	Cada año
Periódica	Por periodos según necesidad
Largo Plazo	Mensual
Mediano Plazo	Semanal o varios días (menos de 5)
Corto Plazo	Diario
Inmediata.	Dos veces al día

Tabla 7: Escala temporal para ejecución de tareas de monitorización.

4.1.3. Requerimientos de Medios de Transmisión

Los principales medios utilizados para la transmisión de datos no guiados hoy en día son: las ondas de radio, microondas terrestres o satélite, e infrarrojos. Las tecnologías de comunicación inalámbrica que se propone utilizar dependen principalmente de área de expansión de la red inalámbrica: **Inalámbrica Personal** (*Bluetooth, RFID, WiFi*), **Inalámbrica de Área Local** (*WiFi*), **Inalámbrica de Área Metropolitana** (*VIMAX, banda ISM*), e **Inalámbrica de Área Extendida** (*VIMAX, UTMS, GSM/GPRS, EDGE, CDMA, Satelital IRIDIUM*). Las características espaciales del escenario de aplicación determinan la viabilidad de cada una de estas tecnologías y los estándares de comunicación a utilizar (**Tabla 3**).

4.1.4. Requerimientos de Fuentes de Carga

Generalmente, los nodos de una red sensorial necesitan disponer de un sistema de alimentación de energía que les permita su funcionamiento.

El proceso de captura de datos, su transformación, la coordinación entre los elementos y el envío y recepción de paquetes según la escala temporal de monitorización definida, hacen que todos los nodos necesiten alimentación en algún instante, pudiendo ser obtenida principalmente de: **fuentes corriente alterna, baterías, pilas o células fotovoltaicas**.

La(s) fuente(s) a utilizar depende(n) además del escenario y de las condiciones meteorológicas que caractericen a la zona de despliegue de la red de sensores. Estos requerimientos en conjunto con los de las tecnologías de transmisión inalámbrica de datos se muestran en el **Anexo B**.

4.1.5. Requerimientos de Tecnologías (Hardware)

El mercado actual relacionado con las tecnologías físicas de sensores inalámbricos, ofrece desde plataformas cerradas, hasta hardware abierto y libre basada en una placa con un microprocesador y un entorno de programación, lo que facilita el desarrollo de la electrónica complementaria y la integración de sensores. No obstante, existen algunas dependencias directas de ciertas prestaciones con el fabricante del producto y el estándar con el que éste sea compatible, tal y como ilustra la **Figura 9**.

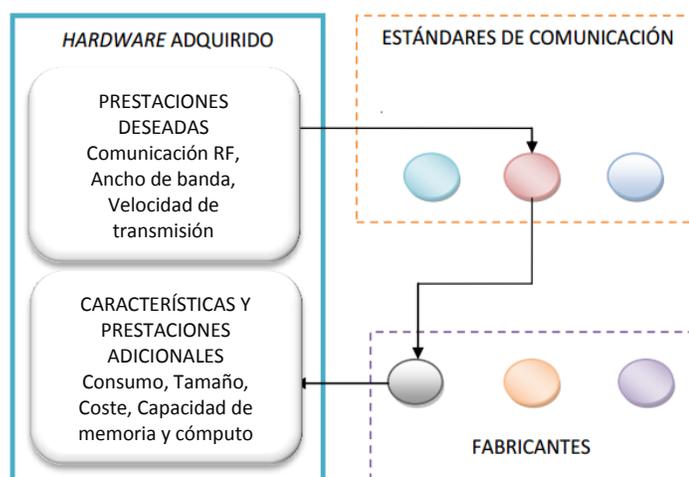


Figura 9: Dependencia de prestaciones en la Tecnología Sensorial Inalámbrica.

4.1.4.1. Prestaciones deseadas

El proceso de selección de la tecnología y equipamiento que se necesita para implementar la infraestructura propuesta, debe tomar en cuenta los siguientes requisitos: **cómputo requerido, tamaño de memoria, ancho de banda, movilidad**

de los nodos, restricciones de tiempo real, área de cobertura, autonomía energética y sincronización. (Martínez D, 2011).

- **Cómputo requerido:** Capacidad de procesamiento de paquetes capturados por los sensores incorporados en el nodo inalámbrico.
- **Tamaño de memoria:** Espacio de almacenamiento de datos disponible por parte del nodo sensor inalámbrico.
- **Ancho de banda:** Cantidad de información o de datos que la red sensorial es capaz de transmitir a través de una conexión en un determinado período.
- **Movilidad de los nodos:** Capacidad del nodo sensorial inalámbrico para capturar y transmitir datos en movimiento.
- **Restricciones de tiempo real:** Entrega de datos dentro de un intervalo de tiempo conocido para que estos sean válidos.
- **Área de cobertura:** Área geográfica en la que se dispone de señal para la captura y transmisión de datos.
- **Autonomía energética:** Tiempo en estado operativo del nodo al usar un determinado tipo de carga autónoma. El tiempo de vida de la red sensorial será mayor si se restringe el uso de la CPU, de la radio y la generación y retransmisión de paquetes.
- **Sincronización:** Los nodos sensores necesitan relojes locales que deben estar sincronizados con diversos grados de precisión para que la transmisión de datos tenga éxito.

Considerando que la red propuesta debe tener la capacidad de operar dinámicamente respecto a su topología, entorno, espacio y frecuencia de monitorización, la siguiente tabla muestra la clasificación de las redes de sensores inalámbrica según los requisitos indicados en el párrafo anterior (Martínez, 2008).

Aplicación	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Cómputo Requerido	Bajas prestaciones	Bajas prestaciones	Altas prestaciones	Altas prestaciones	Bajas prestaciones
Tamaño Memoria	Bajo	Medio	Alto	Medio	Bajo
Ancho Banda	< 256 kbps	<256 kbps	1 Mbps	<256 kbps	<256 kbps
Movilidad de nodos	No	No	Sí	Sí	No
Tiempo Real	Solo en medición	Solo en medición	Solo en medición	Solo en medición	Extremo-Externo
Área de Cobertura	Abierto en 10 km	Cerrado 100 m	Abierto 10 km	Cerrado 1 km	Cerrado 100 m
Autonomía Energética	Meses	No hay restricción	Horas	Días	No hay restricción
Sincronización	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Tabla 8: Clasificación de las redes sensoriales inalámbricas según aspectos técnicos según metodología de Martínez, 2008.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que actualmente existe una variedad de productos de sensores ambientales capaces de capturar parámetros de contaminación usando diversos métodos y que abarcan un abanico amplio en precios, prestaciones, estándares propios, protocolos y formatos de representación de datos. Previa a la adquisición de la tecnología hardware, se aconseja adquirir sensores que verifiquen las siguientes características: *fácil instalación, auto-identificación, auto-diagnóstico, confiabilidad, libre y abierto, protocolos de control y de interfaz de red estándares.*

4.1.5.1. Mercado Actual

En la actualidad, varias empresas comercializan hardware para la implementación de redes inalámbricas de sensores que incluyen servicios y soluciones adaptadas. Entre los proveedores más conocidos se destacan:

- **Crossbow**: Empresa con sede en California, con dos líneas distintas de productos. Uno está basado en sistemas microelectrónicos y giroscopios de fibra óptica de los sistemas inerciales de los sensores y el otro está basado en GPS y GSM/GPRS de las radios en combinación con múltiples sensores ambientales.
- **Ember**: Empresa con sede en Boston, lidera la ZigBee Alliance. Todos sus productos se basan en los protocolos de alto nivel ZigBee, que ofrece la transmisión de datos segura sobre el estándar IEEE 802.15.4 en entornos con bajas tasa de envío, con el correspondiente ahorro de energía y enmarcada dentro de las WPAN.
- **Dust Networks**: Pioneros en el campo de las redes de sensores inalámbricos, ofrece productos inalámbricos fiables, flexibles y escalables con una gestión avanzada de red y características de seguridad. Se basa en el estándar 802.15.4 y la tecnología System on Chip (SoC), lo que permite implementar redes sensoriales en cualquier entorno con ultra bajo consumo de energía, funcionamiento sin cables y baterías con capacidades de captación de energía.
- **Sentilla**: Basa el éxito de su compañía en los famosos Tmotes y ofrece una plataforma de desarrollo en Java compatible con ellos.
- **Libelium**: Empresa española, diseña y fabrica **tecnología de hardware** para la implementación de **redes sensoriales inalámbricas** de forma que integradores de sistemas, ingenierías y consultorías puedan llevar a cabo soluciones fiables para monitorización medioambiental.

4.1.6. Requerimientos de Tecnologías (Software)

La utilización de un entorno de desarrollo para programar los nodos sensoriales y las acciones a ejecutar según el rol que desempeñe en la red sensorial, depende en la mayoría de los casos del fabricante del producto. Los Sistemas

Operativos y Lenguajes de Programación más difundidos entre los usuarios que desarrollan aplicaciones de este tipo trabajan tanto en plataformas Windows como en Linux. A continuación se describe brevemente el software recomendado:

4.1.6.1. Sistema Operativo

- **TinyOS:** Es un sistema operativo de código abierto basado en componentes para redes de sensores inalámbricas. Está escrito en el lenguaje de programación NesC como un conjunto de tareas y procesos que colaboran entre sí. Está diseñado para incorporar novedades rápidamente y para funcionar bajo las importantes restricciones de memoria que se dan en las redes de sensores.

4.1.6.2. Lenguajes de Programación

- **NesC (Network Embedded Systems C):** Es un dialecto del lenguaje de programación C optimizado para las limitaciones de memoria de las redes de sensores. Es un lenguaje orientado a componentes y está especialmente diseñado para programar aplicaciones sobre redes de sensores, en particular en el sistema operativo TinyOS.

Las características principales que se deben resaltar son: la estabilidad en su funcionamiento, puesto que son aplicaciones que deben correr durante meses o años sin intervención humana, control de errores en la adquisición de datos, ejecución de tareas en tiempo real, como puede ser la adquisición de datos del sensor o el envío de mensajes a la red.

- **Lenguaje C/C++:** C++ es un lenguaje imperativo orientado a objetos derivado del C. Es un superconjunto de C, que nació para añadirle cualidades y características de las que carecía. El resultado es que como su ancestro, sigue muy ligado al hardware subyacente, manteniendo una considerable potencia para programación a bajo nivel, pero se le han añadido elementos que le permiten también un estilo de programación con alto nivel de abstracción.
- **Java:** Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, desarrollado por Sun Microsystems a principios de los años 90. El lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++, pero tiene un modelo de objetos más simple y elimina herramientas de bajo nivel, que suelen inducir a muchos errores, como la manipulación directa de punteros o memoria.

Se considera que Java es un lenguaje multiplataforma ya que su código puede correr en cualquier sistema en el que exista un intérprete que ejerza de intermediario. Dicho intérprete recibe el nombre de Java Virtual Machine (JVM).

4.1.6.3. Interfaz de Programación de Aplicaciones (API)

- **API** (según producto): Conjunto de funciones y procedimientos (o métodos, en la programación orientada a objetos) que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción. Son usadas generalmente en las bibliotecas (también denominadas como "librerías"). Un ejemplo de estas librerías son las soportadas en las plataformas ARDUINO, el cual puede ser ampliado mediante librerías en lenguaje C.

4.2. Requerimientos Funcionales

4.2.1. Casos de Uso

Los principales actores que intervienen en la red sensorial inalámbrica para monitorizar parámetros ambientales, están categorizados en ACTORES-RED (*nodos terminales, nodos de infraestructura*) y ACTORES-INSTALACIÓN-USO (*usuario final, administrador de la red, usuarios que realizan trabajo de campo y la aplicación SIG*). Sus interrelaciones se ilustran en la siguiente figura:

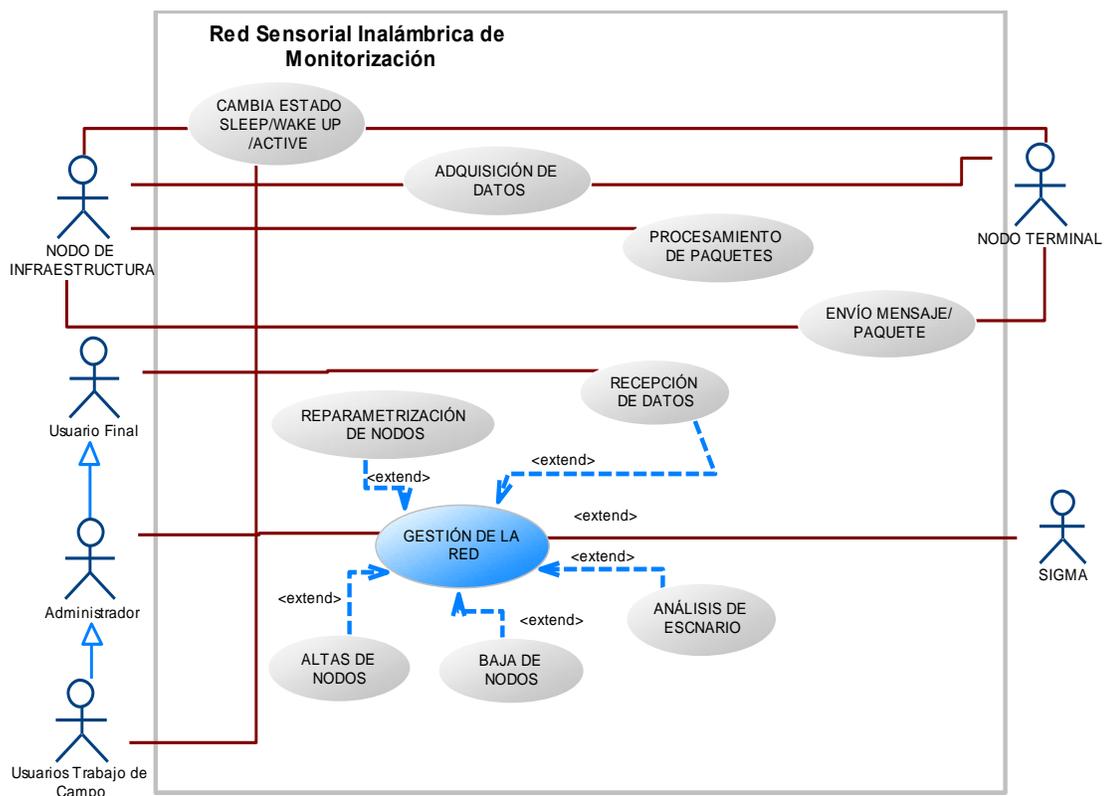


Figura 10: Casos de Usos de la Red Sensorial Inalámbrica de Monitorización Ambiental.

4.2.2. Especificación de Casos de Uso y Secuencia de Operaciones

CASO DE USO: CAMBIA ESTADO DORMIDO/DESPIERTO/ACTIVO

Descripción: Cambio de estados para funcionamiento de los nodos de la red sensorial inalámbrica.			
Actor Primario: Nodos de la red.			
Actores Secundarios: Usuario de trabajo de campo.			
Precondiciones: Nodos previamente instalados, configurados y con disponibilidad de alimentación.			
Postcondiciones: Nodos en estado ON listos para receptor mensaje.			
Curso Normal		Curso Alternativo	
1	Colocar en estado activo al nodo.	1	Si no dispone de energía se mantiene el estado "dormido".
2	Captura de datos.		
3	Procesamiento de datos.	2	
4	Colocar en estado inactivo al nodo.	3	

Tabla 9: Especificación Caso de Uso Inicialización de Nodos.

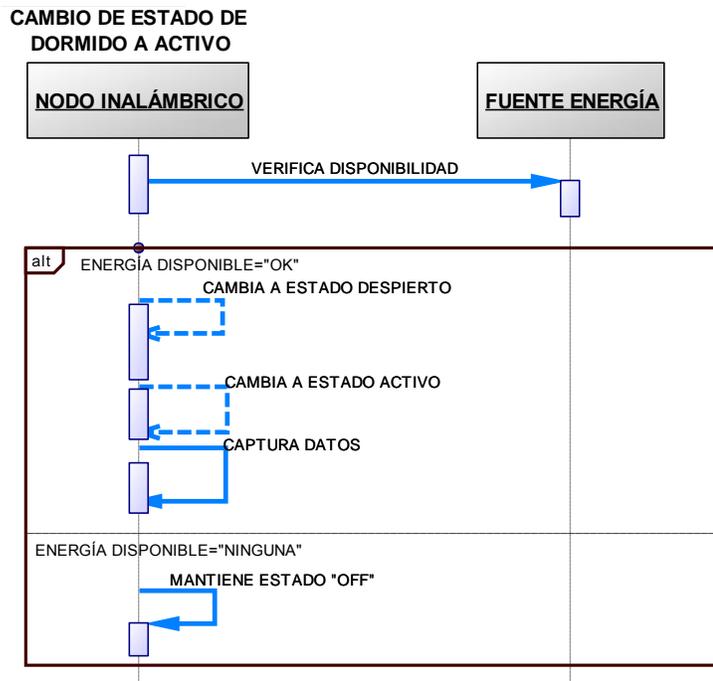


Figura 11: Secuencia de Operaciones - Cambiar estado a un nodo de la red (Dormido/Sleep a Activo).

CAMBIO DE ESTADO DE ACTIVO A DORMIDO O HIBERNACIÓN

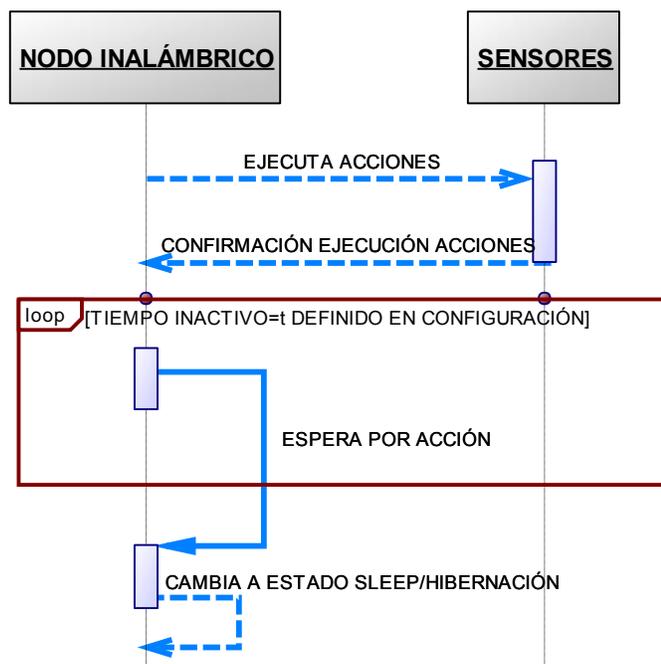


Figura 12: Secuencia de Operaciones - Cambiar estado a un nodo de la red (Activo a Dormido/Sleep o Hibernación).

CASO DE USO: ADQUISICIÓN DE DATOS

Descripción:	Captura de datos por parte de los sensores integrados en los nodos de la red.		
Actor Primario:	Usuario de trabajo de campo.		
Actores Secundarios:	-		
Precondiciones:	Nodos en estado activo.		
Postcondiciones:	Paquetes de datos almacenados.		
		Curso Normal	Curso Alternativo
1	Colocar al nodo en estado activo.	1	
2	Solicitar captura de datos.	2	Si el nodo está programado para que funcione de forma autónoma procede directamente a la captura.
3	Captura de datos por parte de los sensores.	3	
4	Almacenamiento en memoria del nodo.	4	
5	Muestra estado de la operación.	5	

Tabla 10: Especificación Caso de Uso Solicitud captura

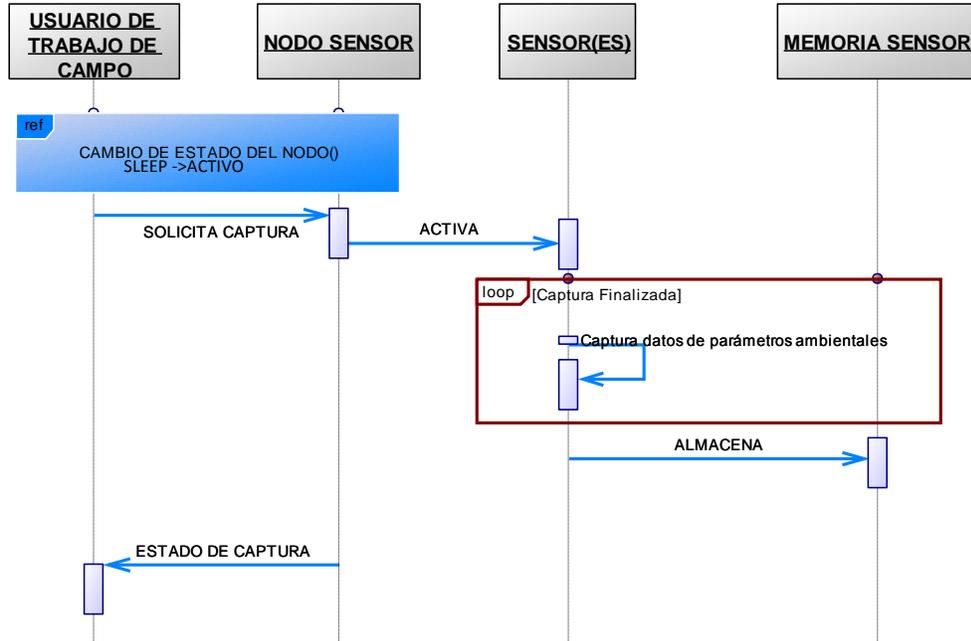


Figura 13: Secuencia de Operaciones - Capturar datos del entorno.

CASO DE USO: PROCESAMIENTO DE DATOS

Descripción:	Procesamiento o tratamiento de datos capturados por los sensores de los nodos de la red sensorial.	
Actor Primario:	Nodos sensoriales inalámbricos.	
Actores Secundarios:	-	
Precondiciones:	Datos almacenados en memoria de nodo.	
Postcondiciones:	Datos procesados y almacenados.	
	Curso Normal	Curso Alternativo
1	Verifica disponibilidad de datos almacenados en memoria.	1
2	Procesamiento de datos/paquetes.	2 Si el nodo no dispone de microprocesador con capacidad de procesamiento, envía a nodo de infraestructura.
3	Almacenamiento en memoria del nodo.	3
4	Muestra estado de operación.	4

Tabla 11: Especificación Caso de Uso Procesamiento de datos.

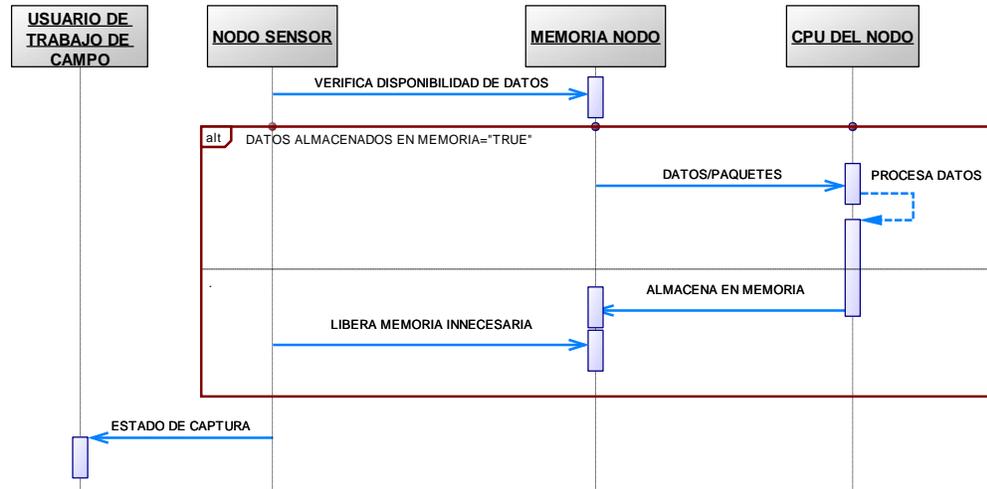


Figura 14: Secuencia de Operaciones - Procesamiento de datos.

CASO DE USO: ENVÍO DE DATOS/PAQUETES

Descripción:	Envío de mensaje o paquete desde NODO DE LA RED hacia NODO CENTRAL.	
Actor Primario:	Nodo de la red sensorial.	
Actores Secundarios:	Medio de Transmisión, SIG.	
Precondiciones:	Datos/Paquetes disponibles en memoria del nodo sensorial.	
Postcondiciones:	Paquetes/Mensajes enviados.	
Curso Normal		
1	Si es envío: Identificación de receptor del mensaje en la comunicación inalámbrica por parte del emisor. Identificación de emisor del mensaje en la comunicación inalámbrica por parte del receptor.	1
2	Búsqueda de medio de transmisión.	2
3	Sincronización de nodos que intervienen en la comunicación.	3
4	Transmisión de datos/paquetes almacenados en memoria del nodo.	4
5	Muestra estado de transmisión.	5
Curso Alternativo		
	Si el receptor no acepta, se termina la comunicación. Si el emisor no es seguro, rechaza el mensaje	

Tabla 12: Especificación Caso de Uso Envío de mensaje/paquete

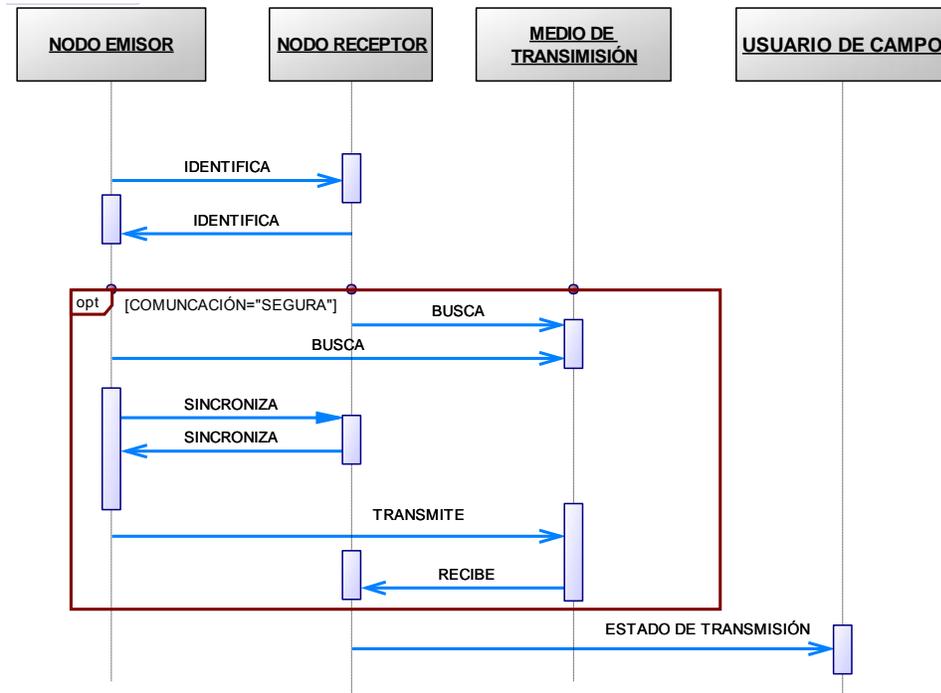


Figura 15: Secuencia de Operaciones - Envío de datos/paquete.

CASO DE USO: GESTIÓN DE RED PARAMETRIZACIÓN DE NODOS

Descripción:	Modifica los parámetros de funcionamiento de NODO SENSORIAL de la red sensorial inalámbrica
Actor Primario:	Usuario/Administrador.
Actores Secundarios:	Nodos de la red sensorial.
Precondiciones:	Nodo Sensorial funcional integrado con sensores.
Postcondiciones:	Modificación de parámetros del nodo.
Curso Normal	
1	Colocar en estado activo al nodo.
2	Inicializa parámetros de funcionamiento del nodo: protocolo, velocidad de transmisión, dirección de destino.
3	Actualización de nuevos parámetros.
4	Verificación de parámetros actuales.
5	Muestra estado de Parametrización.

Tabla 13: Especificación de Caso de Uso Reparametrización de nodos.

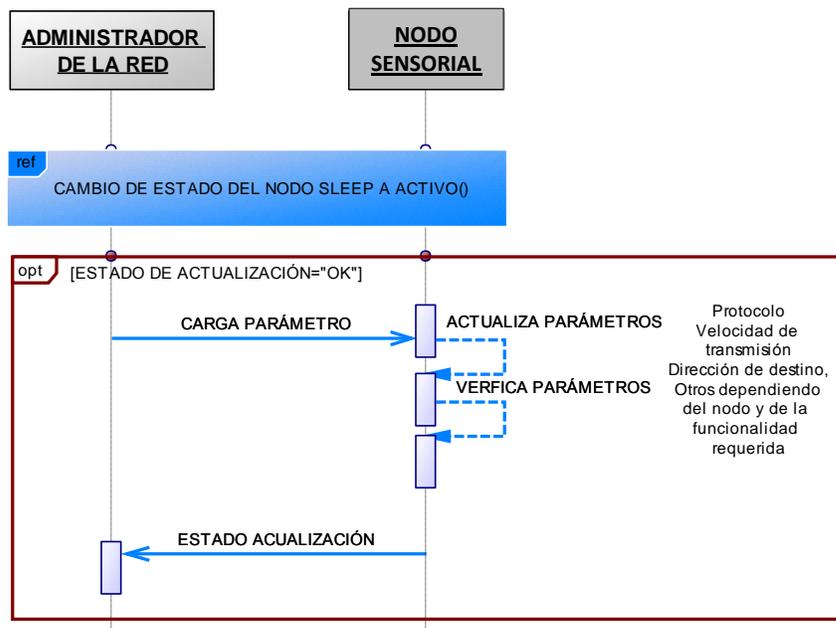


Figura 16: Secuencia de Operaciones - Parametrización de nodos.

CASO DE USO: GESTIÓN DE LA RED

ANÁLISIS DE ESCENARIO

Descripción:	Analiza escenario a monitorizar y recursos disponibles para el funcionamiento de los nodos de la red sensorial.		
Actor Primario:	Usuario de trabajo de campo.		
Actores Secundarios:	-		
Precondiciones:	-		
Postcondiciones:	Información sobre recursos disponibles en escenario a sensorizar.		
Curso Normal		Curso Alternativo	
1	Visita del escenario presencial.	1	Visita en línea con herramienta de Google Maps.
2	Identifica el tipo de entorno de monitorización	2	
3	Identifica fuentes de alimentación de energía.	3	
4	Identifica señal disponible para comunicación	4	

Tabla 14: Especificación Caso de Uso Análisis de escenario.

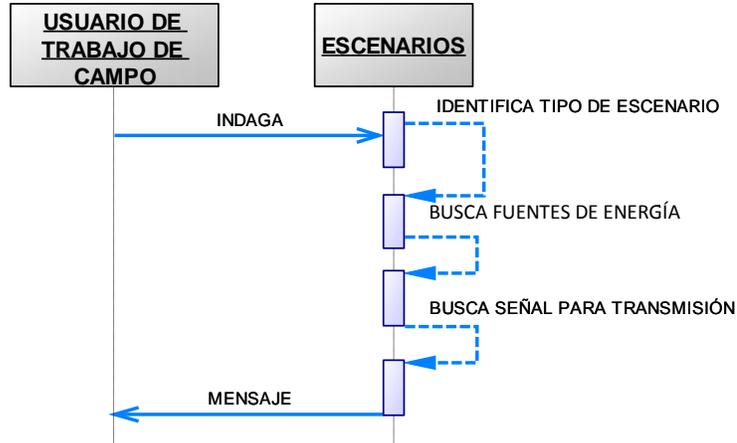


Figura 17: Secuencia de Operaciones - Analizar escenarios.

CASO DE USO: GESTIÓN DE RED

ALTAS DE NODOS

Descripción:	Añadir nuevos nodos a la red sensorial permanente o provisional.		
Actor Primario:	Usuario de trabajo de campo.		
Actores Secundarios:	Administrador de la red.		
Precondiciones:	Conocimiento de escenario a sensorizar, fuentes de energía y medios de transmisión.		
Postcondiciones:	Nodo incorporado a la red configurado para funcionamiento.		
Curso Normal		Curso Alternativo	
1	Colocar en estado activo el nodo.	1	
2	Inicialización de parámetros funcionales de comunicación.	2	
3	Verificación de reparametrización	3	
4	Visualización de estado de reparametrización.	4	
5	Instalación del nodo en el escenario.	5	
6	Registro del nodo inalámbrico en la base de datos del SIG.	6	Si es provisional el nodo no se registra, solo se obtiene posición geográfica de ubicación.

Tabla 15: Especificación de Caso de Uso Altas de nodos.

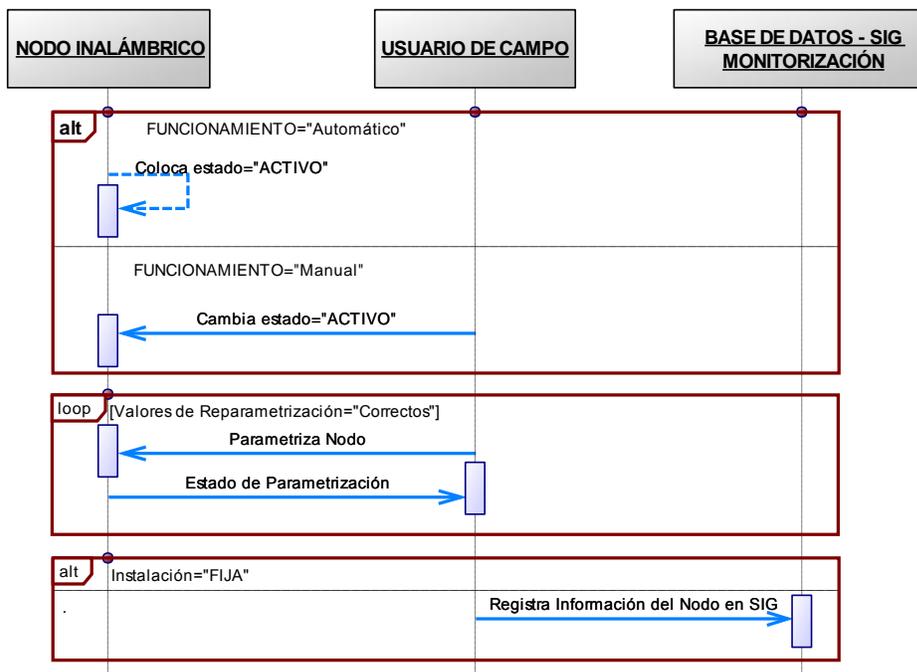


Figura 18: Secuencia de Operaciones - Dar altas a nuevos nodos de la red sensorial.

CASO DE USO: GESTIÓN DE RED

BAJA DE NODOS

Descripción:	Quitar nodos instalados (permanente o provisional) y reconocidos por la red sensorial.		
Actor Primario:	Usuario de trabajo de campo.		
Actores Secundarios:	Administrador de la red.		
Precondiciones:	Nodo dado de alta con anterioridad.		
Postcondiciones:	Eliminación del nodo de la red sensorial.		
Curso Normal		Curso Alternativo	
1	Colocar nodo en estado OFF.	1	
2	Desconectar de fuente de carga.	2	
3	Actualización de información georeferencial del nodo en la base de datos	3	Si la instalación del nodo es provisional, no se actualiza la base de datos del SIG.

Tabla 16: Especificación de Caso de Uso Baja de nodos.

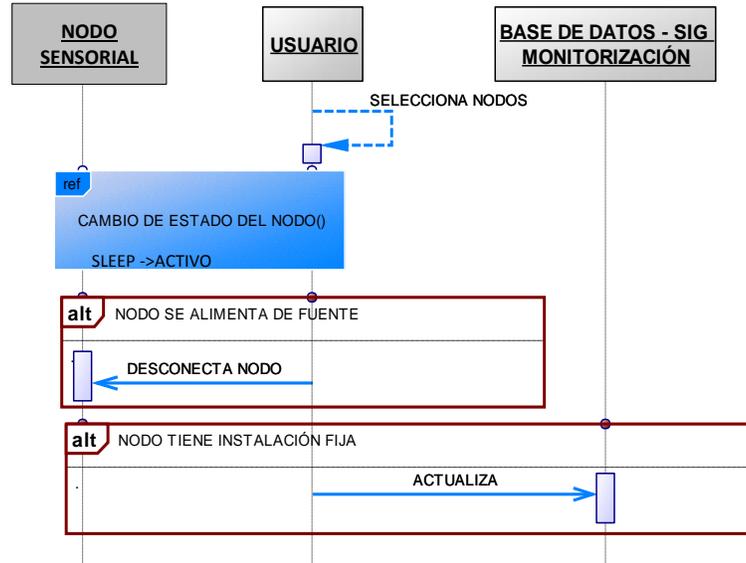


Figura 19: Secuencia de Operaciones - Dar de baja a un nodo de la red sensorial.

CASO DE USO: GESTIÓN DE RED

RECEPCIÓN DE DATOS

Descripción:	Recepción de datos/paquetes desde los nodos de la red sensorial.
Actor Primario:	Usuario de trabajo de campo/SIG.
Actores Secundarios:	-
Precondiciones:	Datos enviados desde nodos de la red hasta el centro del control.
Postcondiciones:	Datos capturados y procesados de ser necesario.
Curso Normal	
1	Identificación de nodos sensoriales que contienen almacenado los datos requeridos.
2	Obtiene localización geográfica del escenario.
3	Carga de datos y almacenamiento en memoria de la estación ubicada en el centro de control.
4	Almacenamiento en base de datos del SIG.

Tabla 17: Especificación Caso de Uso Sensorizar escenario.

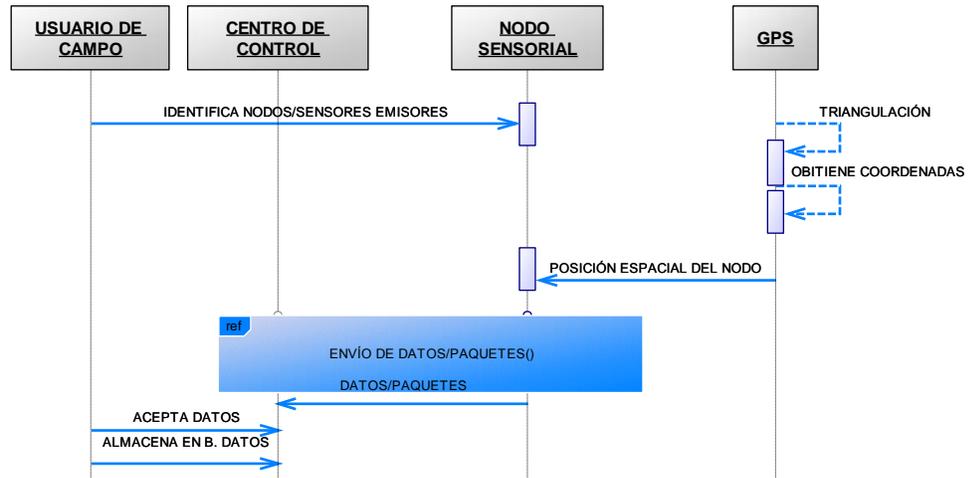


Figura 20: Secuencia de Operaciones - Recepción de datos.

4.2.3. Flujos de datos: DFD Nivel 2: Diagrama de Detalle.

La red sensorial inalámbrica de monitorización ambiental recibe datos de los sensores que se encuentran integrados en los nodos terminales o nodos de infraestructura, los cuales pueden procesar los datos en bruto para transformarlos en información que se transmiten hasta el centro de control para su almacenamiento

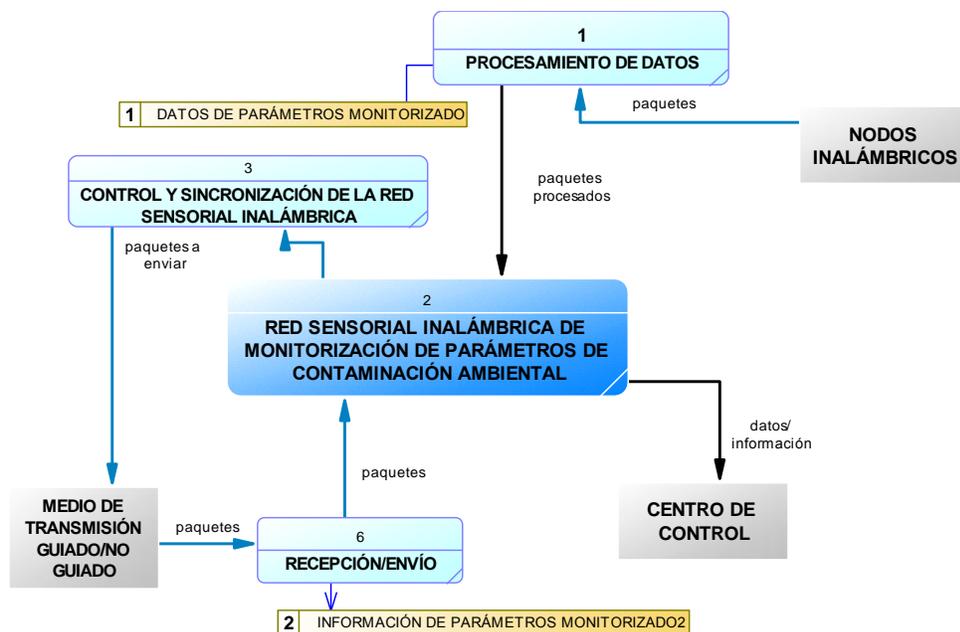


Figura 21: Diagrama de Nivel Superior de la red sensorial inalámbrica.

Capítulo 5

DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA

5.1. Introducción

En el capítulo anterior se especificaron los requerimientos y la funcionalidad de la red sensorial inalámbrica de monitorización medioambiental. En este apartado, se describe cómo se debe implementar la red y los parámetros de configuración a tomar en cuenta para que las comunicaciones entre los nodos inalámbricos (nodos finales y de infraestructura) se lleven a cabo con éxito y que los datos se transmitan de manera fiable y segura.

5.2. Arquitectura de los Nodos Sensoriales Inalámbricos

Una red sensorial está constituida de varios nodos, los cuales están categorizados en nodos terminales, nodos de infraestructura y estaciones base. El incorporar nodos de distintas categorías dependerá de los requerimientos tecnológicos necesarios para la monitorización de un determinado escenario y las prestaciones que éste ofrezca para poner en funcionamiento los componentes de la red. Dichos elementos son básicamente nodos inalámbricos que entre otros elementos incluidos los sensores, incorporan una antena emisora/receptora y una tarjeta codificadora que les permite transmitir mensajes y datos a través de ondas de radio cifradas dentro de un radio de cobertura en tres dimensiones.

5.2.1. Nodos Terminales – Nodo sensorial de bajas prestaciones

De manera elemental un nodo terminal o mota que forme parte de la red, debe incorporar los siguientes componentes: *un módulo de comunicación por ondas de radiofrecuencia, una interfaz serie, chip de memoria, microcontrolador de bajas prestaciones e interfaces para acoplar sensores.* La arquitectura de un nodo terminal se muestra en la siguiente figura.

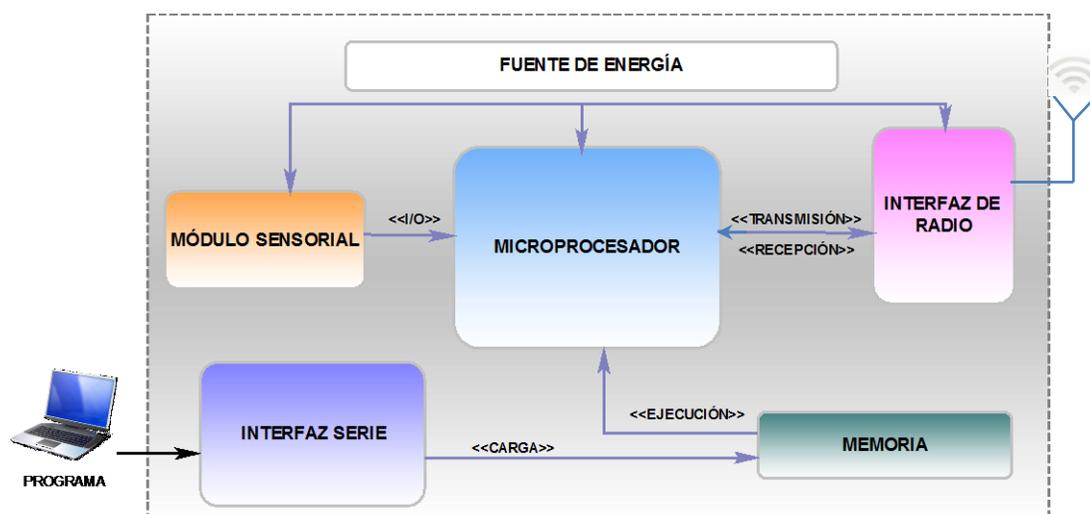


Figura 22: Arquitectura de la Plataforma de los nodos terminales.

Prestaciones requeridas:

- Posibilidad de incorporar fuente de carga o conectarse a ella en el mejor de los casos.
- Consumo de energía mínimo por parte de la CPU.
- Mínimo consumo en la transmisión y recepción de señales radioeléctricas.
- Plataforma hardware abierta.
- Compatibilidad con estándar de comunicación seleccionado.

5.2.2. Nodo de Infraestructura

Básicamente, un nodo de esta categoría (**Figura 23**) debe contar con los componentes de un nodo terminal, pero cuya *unidad de procesamiento* tenga capacidad de ejecución tareas de adaptación de paquetes almacenamiento en *memoria* y envío a redes externas o clústeres diferentes. Esto implica que debe disponer de dos interfaces de comunicación o *antenas*, un *módulo de radio* que cumpla con el estándar de la red inalámbrica seleccionado (red-gateway) y una *antena* (gateway-red de telefonía móvil) o *un módem* (gateway-Internet).

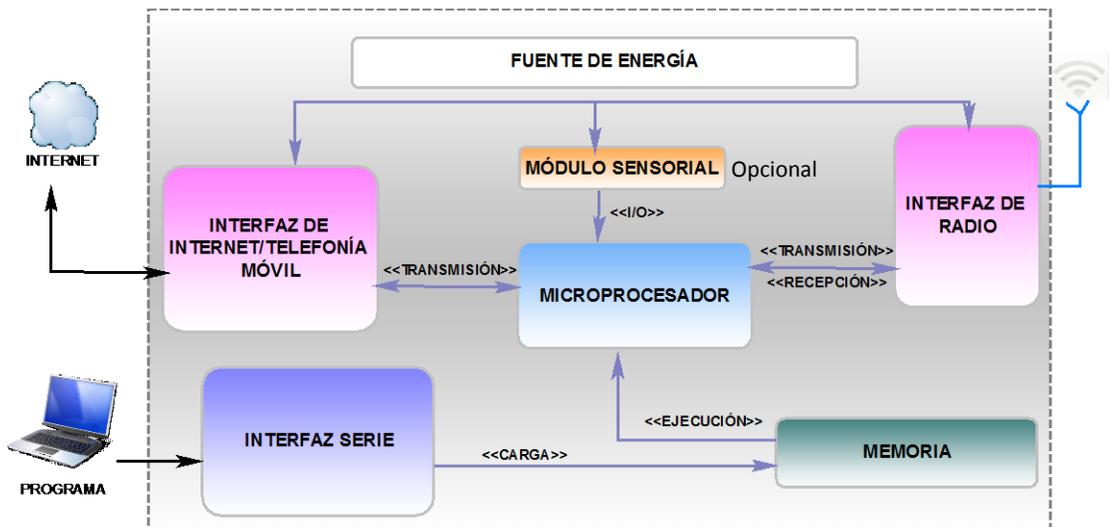


Figura 23: Arquitectura de la Plataforma de Nodos de Infraestructura

Prestaciones requeridas:

- Posibilidad de conectarse a una fuente de carga y mínimo consumo en la transmisión y recepción de señales radioeléctricas.
- Capacidad de memoria y capacidad de cómputo superior a los nodos terminales.
- Tasas de bits de la red inalámbrica comparable con acceso a Internet o red telefónica.
- Plataforma hardware abierta y compatibilidad con estándar de comunicación seleccionado.

5.2.3. Estación Base

A diferencia de los nodos de infraestructura, una estación base (**Figura 24**) es un equipo de mayores prestaciones (CPU y memoria) que un nodo terminal. Se encarga de recibir paquetes, procesar, coordinar, distribuir e incluso almacenar en una base de datos para su posterior envío al centro de control a través de una red externa a la que tenga acceso.

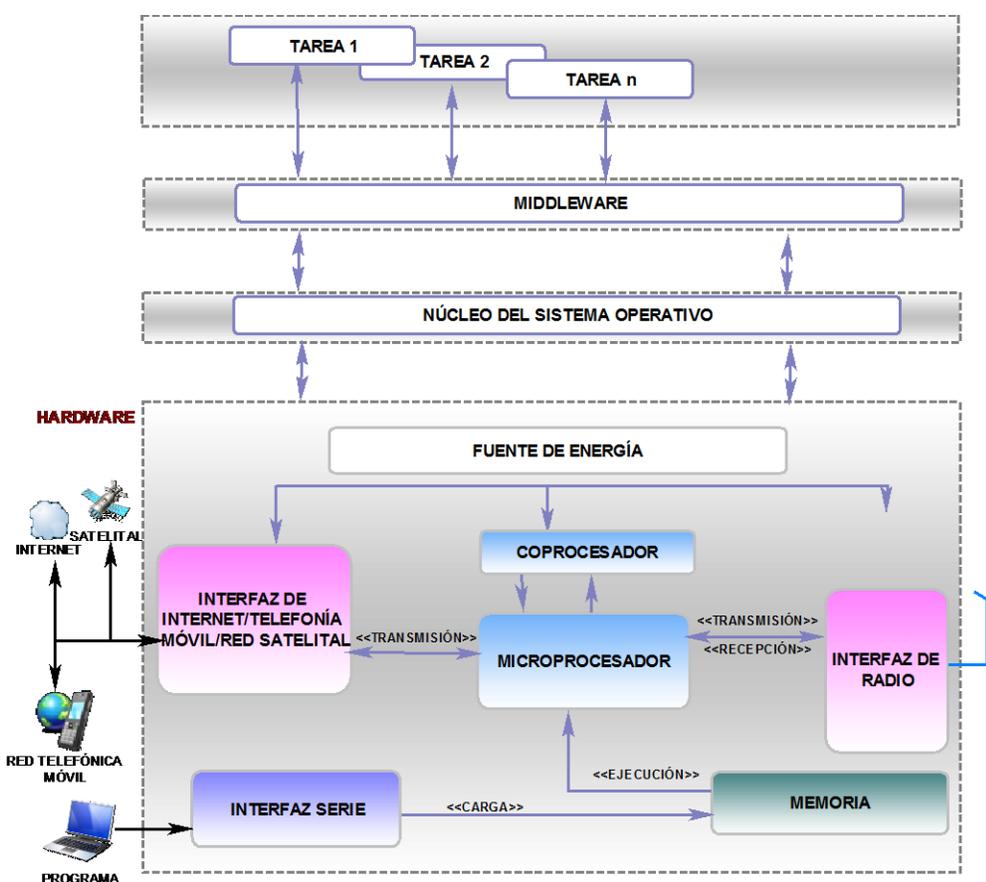


Figura 24: Arquitectura Lógica de Nodos de Altas Prestaciones.

Prestaciones requeridas:

- Conexión a fuente de energía.
- Alta capacidad de almacenamiento y de cómputo.
- Plataforma libre y abierta.

- Posibilidades de conexión a red telefónica, Internet y para casos extremos conexión a red satelital.
- Recepción de señales radioeléctricas y transmisión a redes externas.
- Compatibilidad con estándar de comunicación seleccionado.

En la siguiente tabla se describen las funcionales básicas de cada tipo de nodos inalámbricos que componen la red sensorial de monitorización.

Funcionalidades de los nodos sensoriales de la red.		
<p>NODO TERMINAL Captura de datos del entorno. Sincronización de nodos de la red o del clúster. Transmisión inalámbrica de datos/paquetes.</p>	<p>NODO DE INFRAESTRUCTURA Captura de datos del entorno (no obligatorio) Recepción de paquetes desde nodos terminales Procesamiento de paquetes. Sincronización de nodos Transmisión de paquetes a redes externas o a nodos de otros clústeres.</p>	<p>ESTACIÓN BASE Funcionalidad de un nodo de infraestructura. Funcionalidad de clusterhead. Calcula rutas para mensajes de larga distancia. Recepción de paquetes desde nodos de infraestructura. Transmisión de paquetes a otros clústeres o a redes externas (incluye red satelital)</p>

Tabla 18: Funcionalidades de los tipos de nodos sensoriales inalámbricos que componen la red.

La incorporación de funcionalidades adicionales dependerá de las necesidades que se tengan al implementar la red en determinados entornos de monitorización. Por ejemplo, la carencia de fuentes de corriente o señal de transmisión, la movilidad periódica del nodo, las malas condiciones meteorológicas, etc., pueden requerir funcionalidades como: *obtención de la ubicación geográfica del nodo en un instante determinado, unificación de paquetes, comunicación satelital, etc.*

5.2.4. Parámetros configurables

Son diferentes los parámetros que se deben configurar en el firmware de los nodos sensoriales inalámbricos que constituyen la red inalámbrica de monitorización. Los principales atributos parametrizables a configurar para lograr el funcionamiento de los nodos, se muestran a continuación:

Nodos sensoriales inalámbricos y parámetros de configuración.	
NODOS TERMINALES Nombre del host SSID Dirección MAC Puerto Tabla de Direcciones (<i>mapping table</i>). Clave criptográfica	NODO DE INFRAESTRUCTURA y ESTACIÓN BASE Nombre del host Dirección MAC Dirección IP del nodo Puerto Tabla de Direcciones (<i>mapping table</i>). Puerta de enlace/ID nodo de telefonía móvil Clave criptográfica

Tabla 19: Parámetros de funcionamiento a configurar en nodos sensoriales de la red inalámbrica.

5.3. Arquitectura de la Red Sensorial Inalámbrica

En la fase de diseño de la infraestructura, se recomienda utilizar la **arquitectura distribuida**. En esta, los nodos sensores se comunican sólo con otros nodos dentro de su alcance y no únicamente con el nodo de infraestructura con el que realiza la comunicación; de esta manera, la red sensorial es capaz de soportar movilidad de los nodos al funcionar como una red ad hoc constituida por clústeres que permitirán optimizar las tablas de enrutamiento, alcanzar la eficiencia

energética e incrementar la escalabilidad de la red y mantener mejor organizados los nodos.

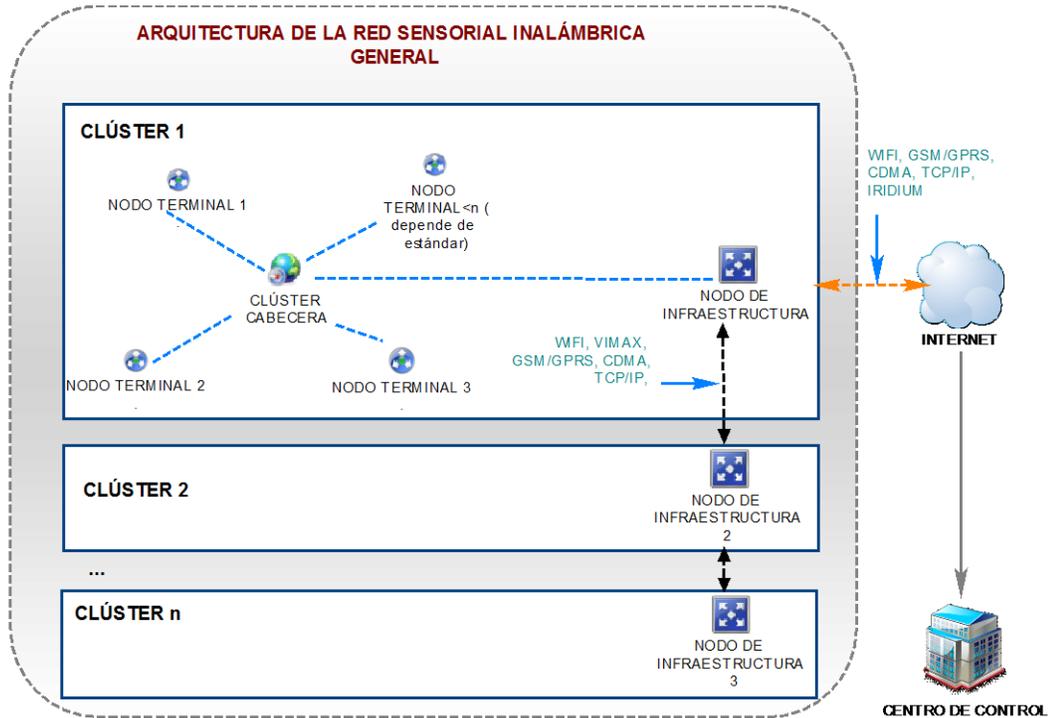


Figura 25: Arquitectura General de la Red Sensorial de Monitorización Ambiental.

5.4. Modelo de Comunicaciones

El modelo de comunicaciones entre los nodos de una red sensorial polivalente capaz de extenderse a múltiples y variados escenarios de monitorización juega un papel muy importante en el diseño de la infraestructura. Por ello se recomienda aplicar el **MODELO DE GRUPOS**, el cual se fundamenta en la creación de grupos de nodos que colaboran en la consecución de una tarea común o se abastecen de flujos de datos comunes.

Estructura de los Grupos	
GRUPO DE COLEGAS (red con pocos nodos) Toda la comunicación tiene su origen en procesos del grupo y el destino es también el grupo. Los miembros conocen a sus colegas.	GRUPOS JERÁRQUICOS (red con decenas o cientos de nodos) Los grupos pueden organizarse en subgrupos con líderes. Los líderes forman, a su vez, un grupo raíz. La gestión es más eficiente.

Tabla 20: Estructura de los grupos presentes en la red sensorial de monitorización.

Carácter de los Grupos y Comunicaciones entre Nodos			
ESTÁTICO Los componentes no cambian según se lo haya programado.	DINÁMICO Los componentes se adhieren y pueden dejar el grupo.	BROADCAST Difusión a todos los nodos . Recomendable para redes pequeñas.	MULTICAST Difusión selectiva a grupos.

Tabla 21: Tipos de Grupos y Formas de Comunicación entre nodos.

5.4.1. Modelo basado en Clúster (Grupo Jerárquico con carácter Multicast)

Según este modelo, la red sensorial se encuentra formada por **capas de clústeres**. Un clúster en este contexto denota una serie de nodos sensoriales considerados como un único conjunto que comparten una característica en común con otros de su especie.

La arquitectura, reflejada en la **Figura 25**, está basada en una jerarquía de dos niveles, el nivel inferior basado en clústeres, gobernado por un protocolo interno del clúster denominado **Comunicación Intraclúster** y el nivel superior formado por un árbol dinámico de nodos líderes de clúster que ejecutan un protocolo entre clústeres denominado **Comunicación Interclúster**.

En el modelo basado en clúster, los nodos se agruparán en clústeres con una cabeza (*clusterhead*), la cual es responsable de encaminar desde ese clúster a las cabezas de otros clústeres o la estación base. Los datos viajan desde un clúster de capa inferior a uno de capa superior. Aunque, salta de uno a otro, lo está haciendo de una capa a otra, por lo que cubre mayores distancias. Esto hace que, además, los datos se transfieran más rápido a la estación base.

Si se consideran las limitaciones de los nodos terminales, este modelo supera al modelo multisalto al ser capaz de operar en redes con grandes cantidades de nodos en un espacio amplio de monitorización. Pero, si se trata de una red elemental formada de pocas unidades nodales que operan en un entorno no muy extenso, lo más fiable es aplicar el **Modelo Multisalto** sin necesidad de formar un clúster.

5.4.1.1. Comunicación a nivel de clúster

La comunicación dentro de un clúster, así como entre diferentes clústeres puede organizarse como una combinación de comunicación “mono salto” y “multisalto” (**ver Figura 26**). En comunicación mono salto, cada nodo de sensor puede alcanzar directamente el nodo de infraestructura, mientras que en comunicación multisalto, los nodos tienen rango de transmisión limitado y por lo tanto son forzados a dirigir sus datos en varios saltos hasta que los datos alcanzan el nodo de infraestructura. En ambos modelos surgen problemas ineludibles de disipación de energía desequilibrada entre diferentes nodos, originándose una situación en la que los nodos pierden energía a un ritmo mayor y mueren antes que otros, reduciendo posiblemente la cobertura sensorial y originando la partición de la red.

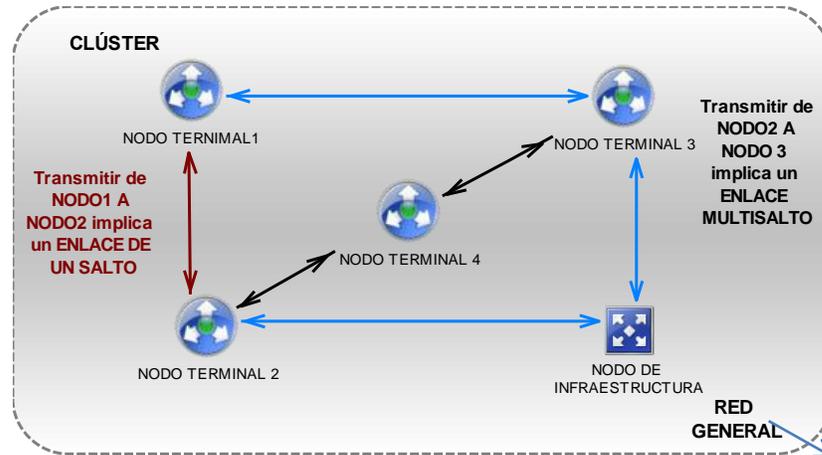


Figura 26: Clúster de monitorización funcional en modo ad hoc.

5.4.1.2. Tipificación de clústeres

La estructura de un clúster dependerá básicamente de las características del área a monitorizar, las cuales determinan también el número y tipo de los nodos que será necesario desplegar para cubrir el área a sensorizar. Por ello, a continuación se proponen los siguientes tipos de clústeres a implementar según el área de cobertura:

- **Clúster Categoría A:** Dentro de esta categoría se ha considerado la disponibilidad de señal de comunicación a red de telefonía móvil o Internet en el entorno donde se desplieguen los nodos que formen parte del clúster. Adicional a ello, se puede estar ante dos posibles situaciones, una red pequeña (*pocas unidades nodales*) o una red más grande (*decenas de nodos*). Por ello se propone subcategorizar el clúster A de esta manera:

Clúster Categoría A de Bajas Prestaciones: La arquitectura del clúster, por ser de bajas prestaciones está basado en una arquitectura centralizada, tal y como se muestra en la **Figura 27**. Opera de manera adecuada si se trata una estructura formada por pocos nodos; de lo contrario se podrían presentar fenómenos como: *cuellos de botella en los nodos de infraestructura, alto consumo de energía y tiempo de vida corta de la red.*

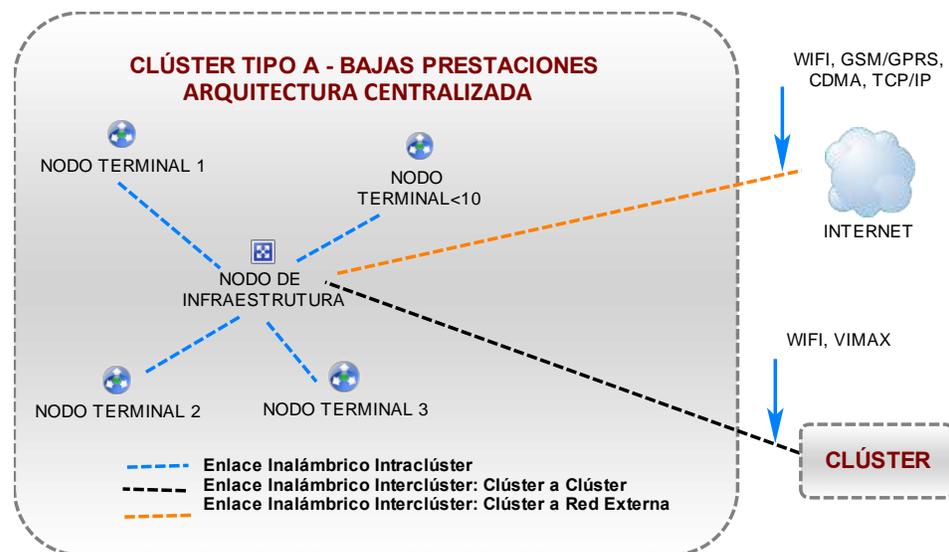


Figura 27: Esquema de clústeres de monitorización tipo A de bajas prestaciones.

Clúster Categoría A de Altas Prestaciones: A diferencia del clúster anterior, este se basa en la arquitectura distribuida (ver **Figura 28**), de manera que se evitan los problemas que se presentaban en la arquitectura centralizada y es factible la escalabilidad de la red al distribuir las tareas y comunicaciones en nodos cabeceras de clúster.

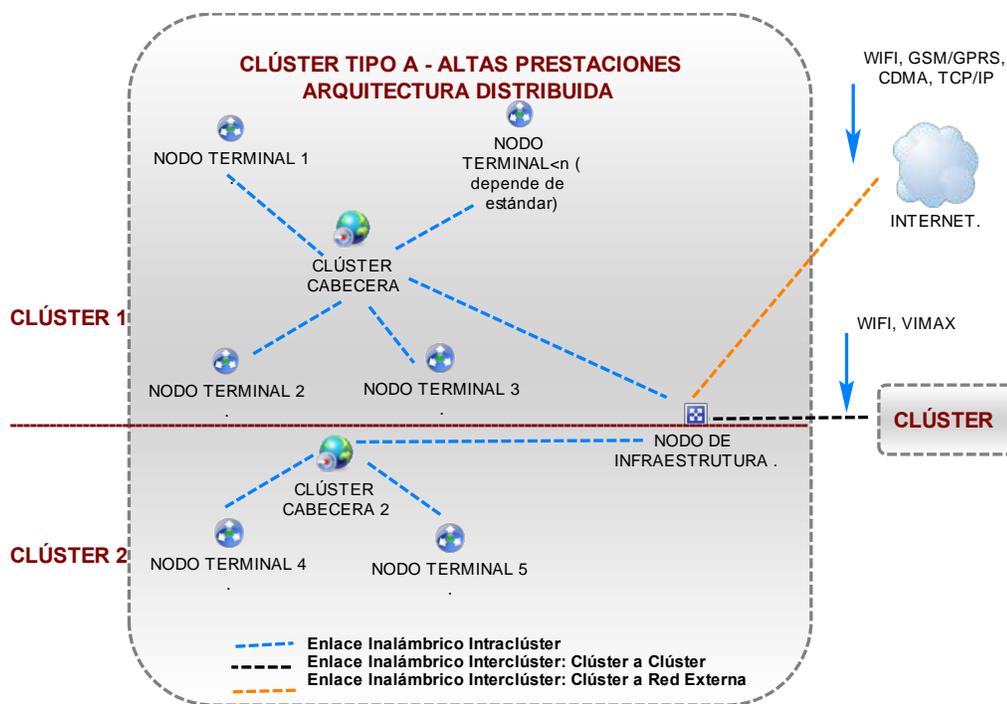


Figura 28: Esquema de clústeres de monitorización tipo A de altas prestaciones.

- **Clúster Categoría B:** Ante situaciones como la no disponibilidad de señal de transmisión de datos, la única opción que permita enviar los paquetes capturados por la red sensorial, consiste en que uno de los nodos de infraestructura pueda acceder a la red satelital (IRIDIUM). Las demás configuraciones a nivel de intraclúster es factible mantenerlas sin causar inconveniente alguno.

5.4.1.3. Planificación de la red

Considerando que en los posibles entornos de monitorización analizados no es de vital importancia la incorporación de nodos sensoriales móviles, se propone

que la estructuración de la red sea un proceso estático, es decir que la definición de los clústeres se realiza a priori. De esta manera se aprovechan los limitados recursos energéticos, de memoria y de procesamiento que poseen los nodos y se coopera con la reducción de la complejidad de la red, al no tener que ejecutar algoritmos de clustering para la construcción de los grupos ni de sus posibles nodos líderes cada vez que existan cambios en la topología de la red.

5.4.2. Modelo basado en Multisaltos (Grupo de Colegas con carácter Dinámico)

En este modelo, un nodo transmite a la estación base reenviando sus datos a uno de sus vecinos, el más próximo a la estación base, a la vez que éste enviará a otro nodo más próximo hasta que llegue a la estación base. De esta manera la información viaja de la fuente al destino salto a salto desde el nodo de origen. Éste es el modelo que se aplica a nivel de intraclúster.

5.4.3. Topología.

Las áreas de monitorización medioambiental se caracterizan por su extensión, las condiciones meteorológicas y las limitaciones de fuentes de energía y la escasa o la carencia total de señal de conexión a una red telefónica o Internet. Estas características del entorno, impulsa a que la infraestructura propuesta use la topología en malla. Específicamente se recomienda aplicar la **topología en malla – plana** si se trata de clústeres de bajas prestaciones, y la **topología en malla – jerárquica** para clústeres de altas prestaciones.

Variantes de la Topología de la red sensorial inalámbrica	
<p>T. MALLA - PLANA.</p> <p>Tabla de enrutamiento proporcional al número de nodos de la red.</p> <p>Intercambian con frecuencia información entre nodos para mantener las tablas actualizadas según cambie la topología de la red.</p> <p>Requerimiento de buen ancho de banda.</p> <p>Enrutamiento óptimo.</p> <p>Consumo energético bajo.</p>	<p>T. MALLA - JERÁRQUICA</p> <p>Divide la red en un conjunto de clústeres donde cada nodo conoce sus vecinos, lo cual reduce significativamente las tablas de enrutamiento al no necesitar que cada nodo conozca toda la red y facilita el tráfico en la misma.</p> <p>Existe un nodo líder en cada clúster (clusterhead) que transmite paquetes de todos los nodos que tiene de su grupo.</p> <p>Aplica enrutamiento a nivel interior del clúster (<i>intraclúster</i>) o a nivel exterior (<i>interclúster</i>).</p> <p>En redes muy pobladas es recomendable establecer un "backbone de comunicación"</p> <p>Óptima para redes con escalabilidad.</p>

Tabla 22: Variación de la topología en malla, recomendada para la red sensorial de monitorización.

Las dificultades respecto al ahorro de energía que presenta esta topología pueden ser suplidas por el protocolo que se implementará, de manera el consumo de energía será aproximado al consumo de una red de topología estrella.

5.4.4. Esquema de Enrutamiento

Los nodos sensoriales no tienen un conocimiento previo de la topología de la red y deben descubrirla. Cuando se añade un nuevo nodo a la red, éste anuncia su presencia y escucha los anuncios broadcast de sus vecinos. El nodo se informa acerca de los nuevos nodos a su alcance y de la manera de encaminarse a través de ellos, a su vez, puede anunciar al resto de nodos que pueden ser accedidos desde él. Transcurrido un tiempo, cada nodo sabrá qué nodos tiene alrededor y una o más formas de alcanzarlos.

Dado que se propone una arquitectura distribuida, se debe aplicar el esquema de **enrutamiento basado en clúster (jerárquico)** para establecer la comunicación con los nodos que formen parte de la red y que formen clúster(es). Pero, si se implementa una pequeña infraestructura con arquitectura centralizada (*red de monitorización momentánea*), es recomendable aplicar el **enrutamiento multisalto**.

El enrutamiento jerárquico es un modelo híbrido, lo que implica aplicar **enrutamiento proactivo** para la comunicación a nivel de intraclúster y el **enrutamiento reactivo** a nivel de interclúster.

Esquemas de Enrutamiento recomendado para la red sensorial	
<p>A NIVEL DE INTERCLÚSTER</p> <p>Distribuye la información periódicamente a través de la red para calcular todos los caminos posibles.</p> <p>Ante cambios topológicos los cambios se propagan para mantener actualizadas las tablas de enrutamiento.</p> <p>Aplicable en instalaciones fijas para no sobrecargar la red y que no se vea afectado el ancho de banda, el throughput (<i>fracción de la capacidad del canal empleado en la transmisión de datos</i>) y el uso de la energía.</p>	<p>A NIVEL DE INTRACLÚSTER</p> <p>Obtiene los caminos entre los nodos cada vez que sea necesario.</p> <p>Una vez hallada la ruta, se mantiene hasta que esta se inaccesible o ya no es requerida.</p> <p>Reduce las tablas de enrutamiento.</p> <p>Existe retardo significativo durante el proceso de descubrimiento de nuevas rutas.</p>

Tabla 23: Modelo de Enrutamiento híbrido de comunicación entre clústeres.

5.4.5. Protocolo de Enrutamiento

Un algoritmo de enrutamiento debe ser capaz de mantener una tabla de enrutamiento razonablemente pequeña, elegir la mejor ruta para un destino dado (ya sea el más rápido, confiable, de mejor capacidad o la ruta de menos coste), mantener la tabla regularmente para actualizar la caída de nodos, su cambio de posición o su

aparición y además requerir una pequeña cantidad de mensajes y tiempo para converger.

Dado que la red sensorial propuesta puede escalar y llegar a contener cientos de nodos, muchos de los cuales deben funcionar de manera autónoma y sin necesidad de mantenimiento por largos periodos de tiempo, es necesario que el protocolo de enrutamiento defina de manera óptima las rutas que se deben seguir en las comunicaciones.

(Gil M., 2009) en su análisis comparativo de los principales protocolos de enrutamiento aplicados a redes sensoriales inalámbricas, enfatiza en la bondades que posee el protocolo AODV⁴ en métricas de consumo energético y enlaces entre nodos, lo cual lo ha convertido en uno de los protocolos de enrutamiento más utilizados en redes inalámbricas de sensores.

AODV es un protocolo reactivo que evolucionó del protocolo DSDV (*Destination-Sequenced Distance-Vector*). Conserva la idea de mantener números de secuencia y tablas de encaminamiento. Adicional a ello, incorpora el concepto de encaminamiento bajo demanda, es decir, solo se guarda información de los nodos que intervengan en la transmisión de datos. La optimización primordial que consiguió fue el decremento del tiempo de proceso, disminución del gasto de memoria y reducción del tráfico de control por la red. Puede transmitir en modo Unicast y Multicast. Su modelo de comunicación es multicanal y tiene direccionamiento plano y estructura uniforme [2].

⁴ Ad hoc On Demand distance Vector (Perkins, C, 2003)

Capítulo 6

SIGMA - SIG DE MONITORIZACIÓN AMBIENTAL.

6.1. SIGMA

SIGMA: Sistema de Información Geográfico para Monitorización Medioambiental, constituye la aplicación web de monitorización en tiempo real y georreferenciada de parámetros de contaminación ambiental. El portal lo constituyen tres módulos como muestra la siguiente figura.



Figura 29: Módulos del SIG de monitorización y control de la Red Sensorial Inalámbrica.

Módulo 1: SIGMA

El primer módulo contendrá la cartografía del área geográfica a monitorizar. En relación a ella permitirá operaciones de manipulación de datos en la base de datos temática y estará dotado de interfaces de monitorización que visualicen los datos capturados de los sensores que forma parte de la red sensorial inalámbrica y que se hayan enviado al centro de control.

Módulo 2: RED SENSORIAL – ADQUISICIÓN DE DATOS

El segundo módulo permitirá decodificar los paquetes enviados por los nodos de la red sensorial hasta el centro de control y almacenarlos en la base de datos nominal para su posterior despliegue y procesamiento.

Módulo 3: ANÁLISIS ESPACIAL

El último módulo permitirá el acceso a datos históricos de monitorizaciones llevadas a cabo con anterioridad, los mismos que serán visualizados geográficamente a través de mapas que incluyan estadísticas. Esto hace que el sistema proporcione información que sirva a expertos en el área de Gestión Ambiental y organismos competentes para apoyar la toma de decisiones.

6.2. Arquitectura

Para el desarrollo del SIG de monitorización de los parámetros ambientales definidos en apartados anteriores, se utilizará una arquitectura de tres capas, como se muestra en la **Figura 31**, a fin de separar la capa de presentación, capa de negocio y de datos.



Figura 30: Arquitectura en tres capas (genérica) para el desarrollo de software.

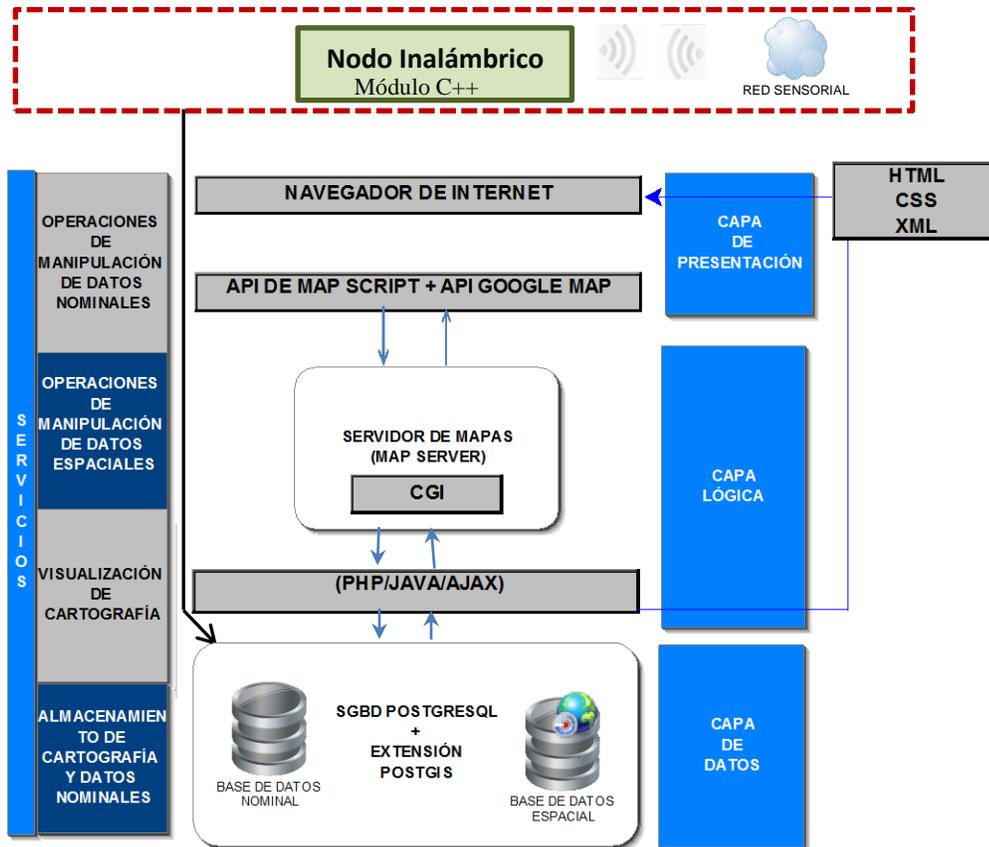


Figura 31: Arquitectura en tres capas del sistema SIGMA.

6.2.1. Capa de Datos

Al ser la capa donde residen los datos espaciales y nominales del sistema, ésta se encarga de acceder, almacenar y recuperar los datos capturados por los nodos de la red sensorial inalámbrica, los mismos que son administrados a través de un gestor de base de datos espacial.

6.2.1.1. Modelo Conceptual

El modelo conceptual de la base de datos representado mediante un diagrama Entidad Relación se muestra en la Figura 32, y contiene las restricciones básicas que aseguren la integridad de los datos nominales y geográficos almacenados. Respecto a las entidades geográficas, para el almacenamiento de los datos espaciales se utilizará el formato vectorial, el mismo que está formado por puntos, líneas y polígonos. Estas se diferencian de las entidades nominales en el diagrama a fin de evitar errores en el modelado de datos.

6.2.1.2. Modelo Lógico

Entidades Temáticas: Las entidades que almacenan atributos no geográficos registran información complementaria, que en conjunto con la cartografía permiten que esta se encuentre georeferenciada.

Entidades Geográficas: Aunque no se mencione la utilización de una cartografía específica, de manera general, las cartas a digitalizarse deben estar en formato vectorial (*compuesta por puntos, líneas y polígonos*). En la Figura 33, se muestran las principales capas que forman el mapa del SIG.

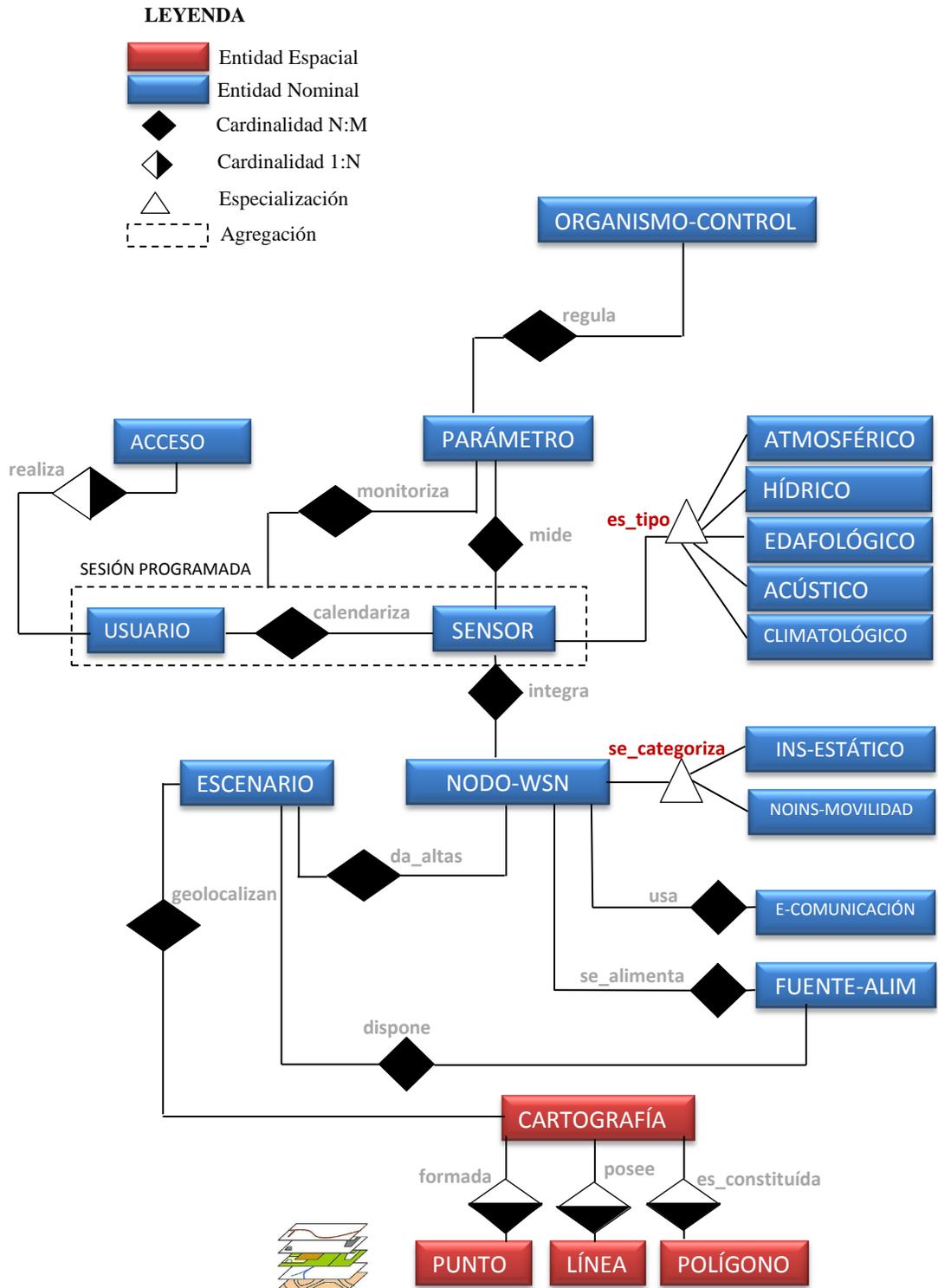


Figura 32: Modelo Entidad Relación de la aplicación SIGMA.



Figura 33: Capas vectoriales de la cartografía utilizada por la aplicación SIGMA.

El esquema de la base de datos relacional que asocia tanto las entidades geográficas como las nominales se muestra en el **Anexo D**.

6.2.2. Capa de Negocios

La capa del negocio en la aplicación permite comunicar la capa presentación con la capa datos mediante el uso de las siguientes tecnologías.

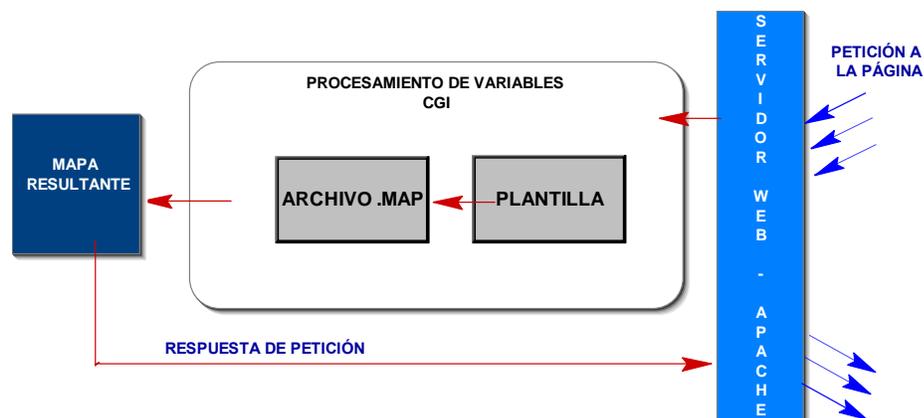


Figura 34: Funcionamiento de MapServer.

- **Servidor Web (Apache):** Proporciona las páginas HTML cuando son requeridas por el navegador del usuario a través de un formulario que incluye variables ocultas.
- **Plantilla (Template):** Controla la salida de los mapas y leyendas en el navegador de Internet, haciendo referencia a las variables CGI de MapServer en la plantilla HTML, que permite a MapServer llenar esta con valores relacionados con el estado actual de la aplicación (*navegador, zoom, pan, consultas*).
- **Archivo .map:** El archivo plano MapFile contiene texto de configuración estructurado para la aplicación MapServer en el que se define: área del mapa, ubicación de los datos, imágenes de salida, capas del mapa incluyendo orígenes de datos, proyecciones y simbologías.
- **Map Server CGI:** Archivo binario o ejecutable que recibe solicitudes y retorna datos, imágenes que se encuentran en el directorio cgi-bin o scripts del servidor HTTP.

6.2.3. Capa de Presentación

Los elementos de la interfaz con los que el usuario interactuará para el envío de mensajes, despliegue de resultados, gráficas de la monitorización de los parámetros ambientales definidos y el control de la red sensorial inalámbrica se realizan en esta capa. Para ello se recomienda utilizar las tecnologías y herramientas de programación Web y sistemas de información geográfica representados en la **Figura 35**. Éstas se pueden complementar con otras herramientas, tanto en entornos Windows como Linux, a fin de incorporar nuevas funcionalidades futuras a la aplicación.

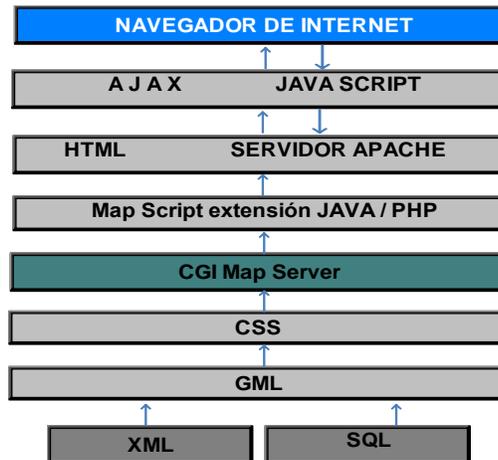


Figura 35: Capa de Presentación de la aplicación SIGMA.

6.3. Análisis de Requerimientos

6.3.1. Requerimientos de Información

Los requerimientos de información del SIG son los datos capturados de los sensores; es decir, los parámetros ambientales sujetos de medición, además de los datos de geolocalización de los nodos que forman parte de red sensorial.

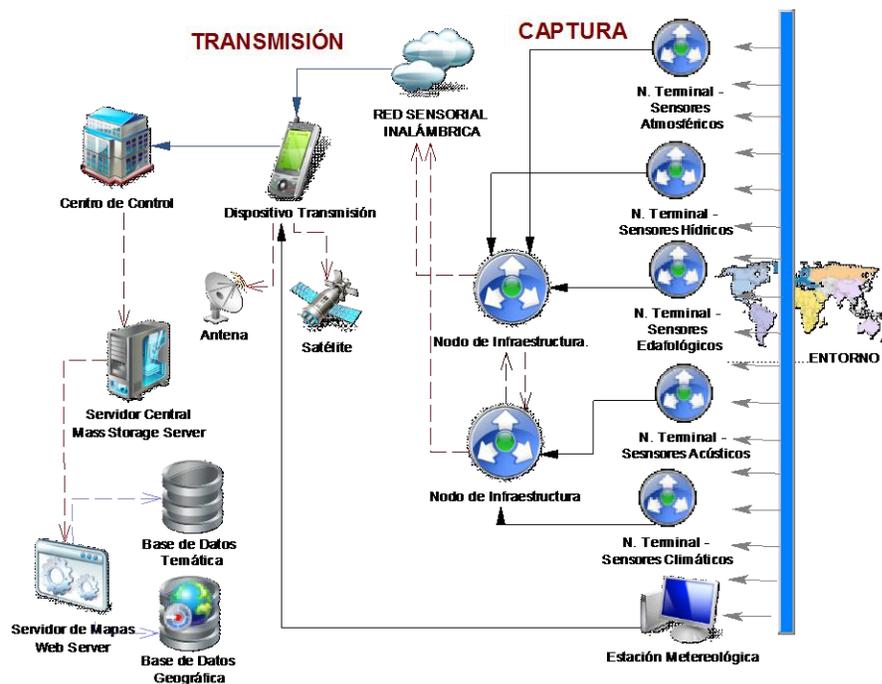


Figura 36: Fuentes de datos procesables en la aplicación SIG.

6.3.2. Requerimientos de Centro de Control

Los requerimientos de entorno con los que la aplicación SIG interactuará para llevar a cabo las tareas de recepción, almacenamiento y análisis espacial de los niveles de contaminación del aire, agua, suelo, ruido y parámetros climatológicos en el centro de control se muestran a continuación:

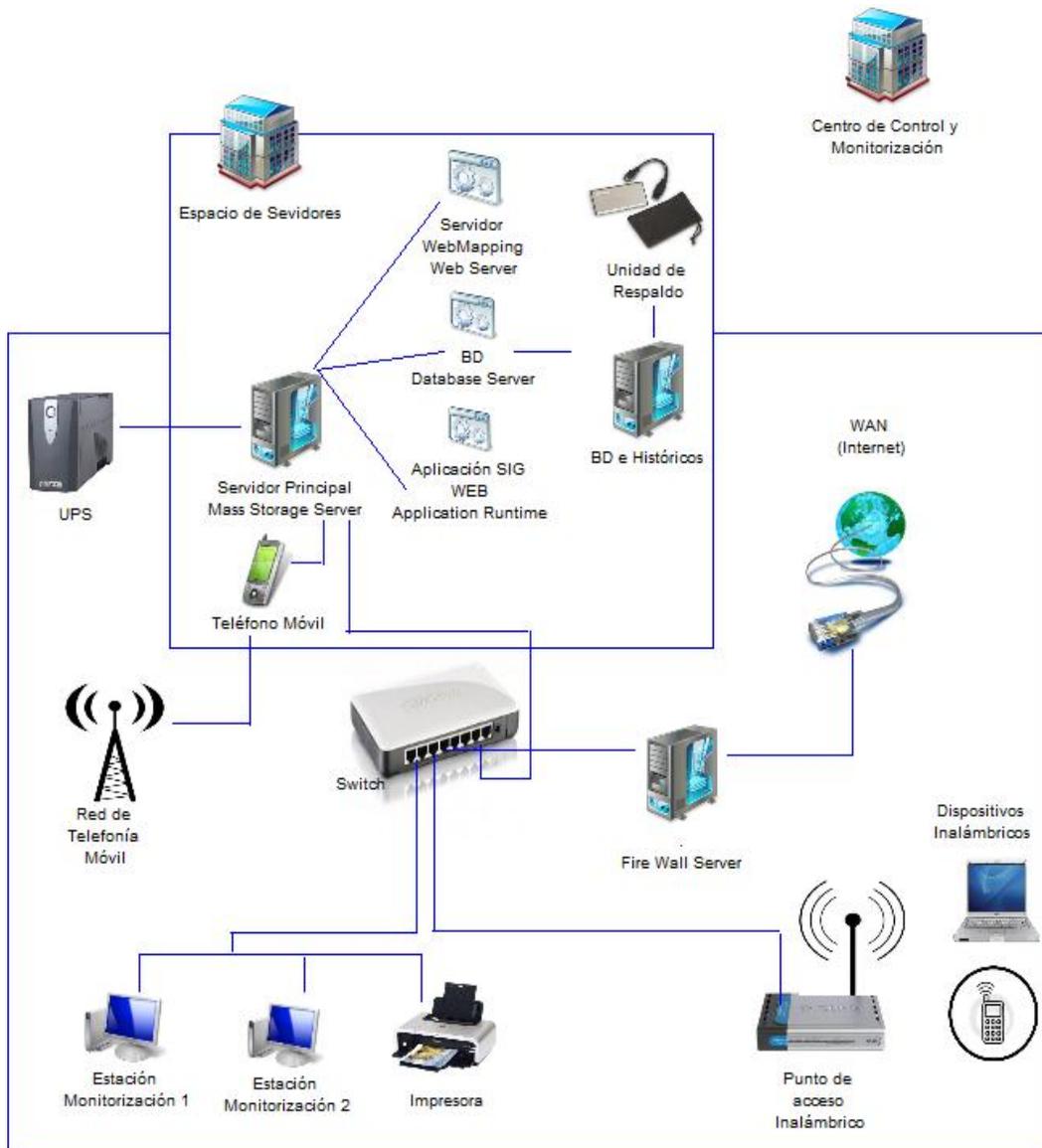


Figura 37: Requerimientos del Entorno de la Aplicación Genérica SIGMA.

6.3.3. Requerimientos Funcionales

Casos de Uso.

Los principales ACTORES involucrados en la gestión de la red sensorial inalámbrica mediante la aplicación SIGMA básicamente son: usuario final y administrador de la aplicación, la red sensorial inalámbrica y los posibles organismos medioambientales locales a los cuales se envían alertas cuando se superan los límites permisibles de contaminación de algunos de los elementos del Medioambiente en cuestión.

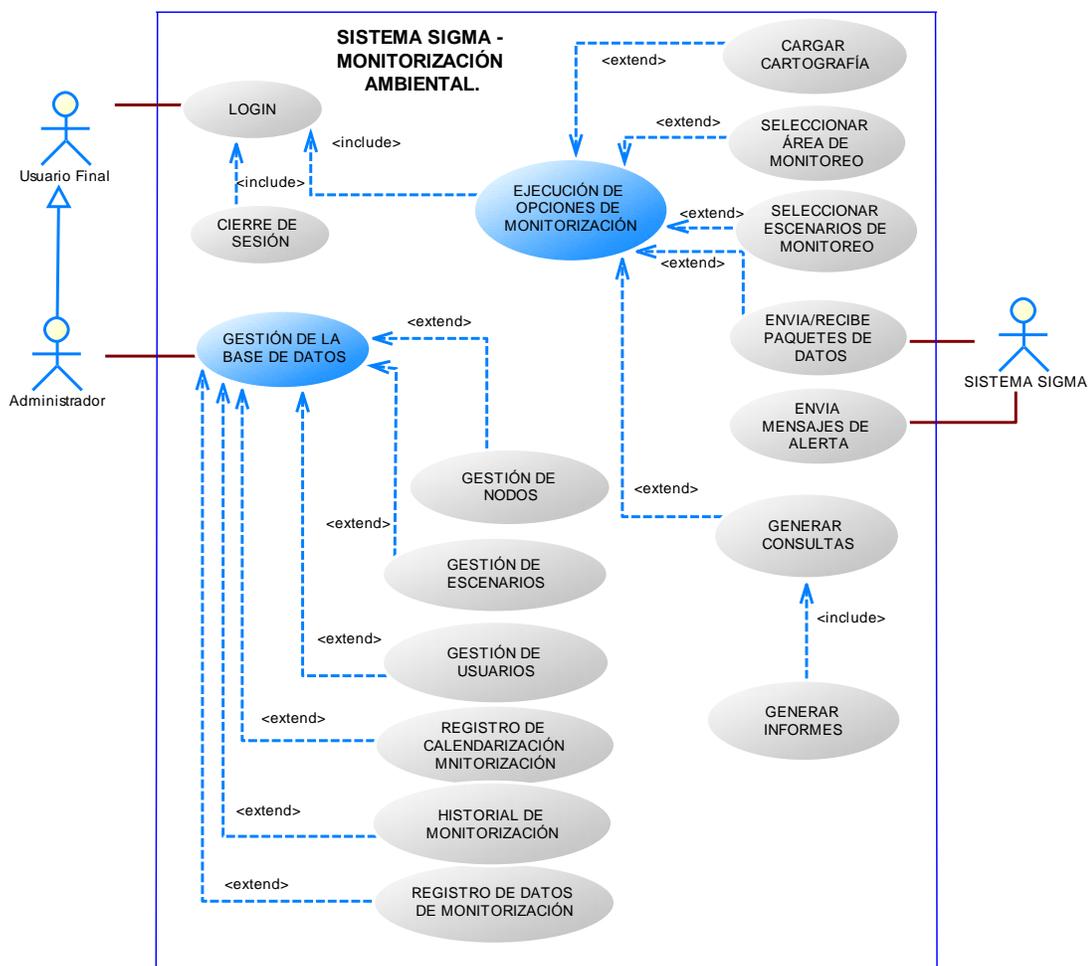


Figura 38: Casos de Usos de la Aplicación SIGMA.

Diagrama de flujo de datos.

El siguiente diagrama muestra los datos de entrada que recibe la aplicación SIGMA, los procesos que aplica a estos, previo a la visualización de la información relacionada con los valores de los parámetros sujetos de monitorización que fueron capturados mediante los nodos de la red sensorial inalámbrica.

DFD: Diagrama de Detalle o Expansión.

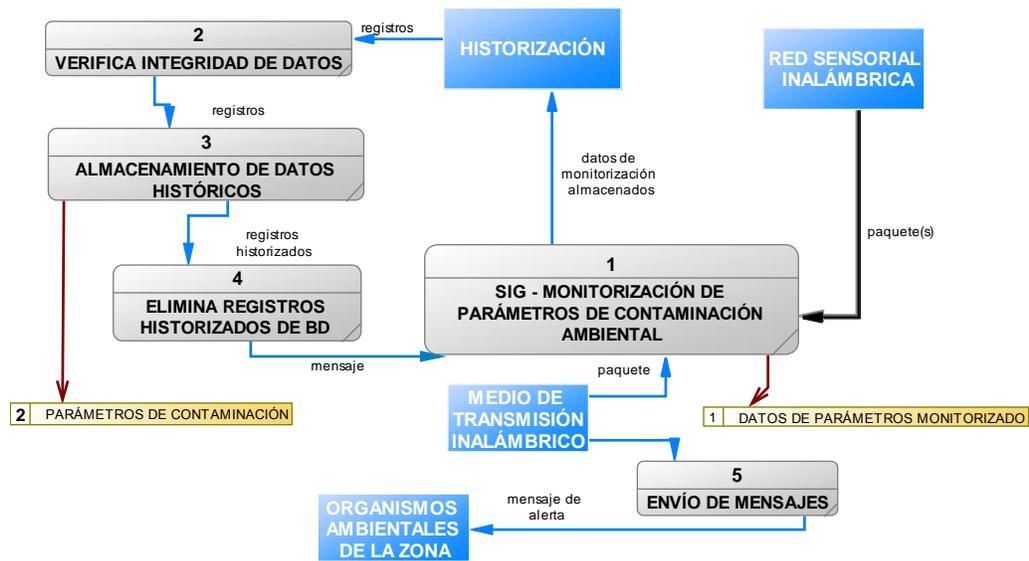


Figura 39: Diagrama de Detalle de la aplicación SIGMA.

6.3.4. Requerimientos de Interfaz

Tomando en cuenta que la aplicación SIGMA es un complemento de la red sensorial inalámbrica, que sirve de interfaz para que el usuario recpte y visualice los paquetes enviados por los nodos de la red, dicha interfaz (**Figura 40**) debe cumplir los siguientes requerimientos:

- **Portabilidad:** Debe ser portable, es decir, independiente de la máquina y del sistema operativo que esta tenga instalado. Por ello la aplicación debe utilizar tecnología Web para garantizar la portabilidad.
- **Accesible:** Debe ser accesible desde cualquier máquina de la red LAN del centro de control y monitorización sin necesidad de instalar la aplicación en dichas estaciones. Por tanto debe ser una aplicación con arquitectura cliente-servidor.
- **Sencilla:** La interfaz debe ser sencilla e intuitiva para evitar entorpecer la visualización de los datos geográficos y de fácil uso para usuarios no expertos en sistemas informáticos. Se utilizarán lenguajes de programación y herramientas que permitan el desarrollo de interfaces gráficas para la entrada y salida de información del sistema.
- **Escalable:** Debe permitir la adición de nuevos elementos de monitorización a lo largo del tiempo. Por ello, se utilizarán lenguajes de programación actuales que contienen herramientas y bibliotecas que permiten el desarrollo de aplicaciones escalables con el tiempo.

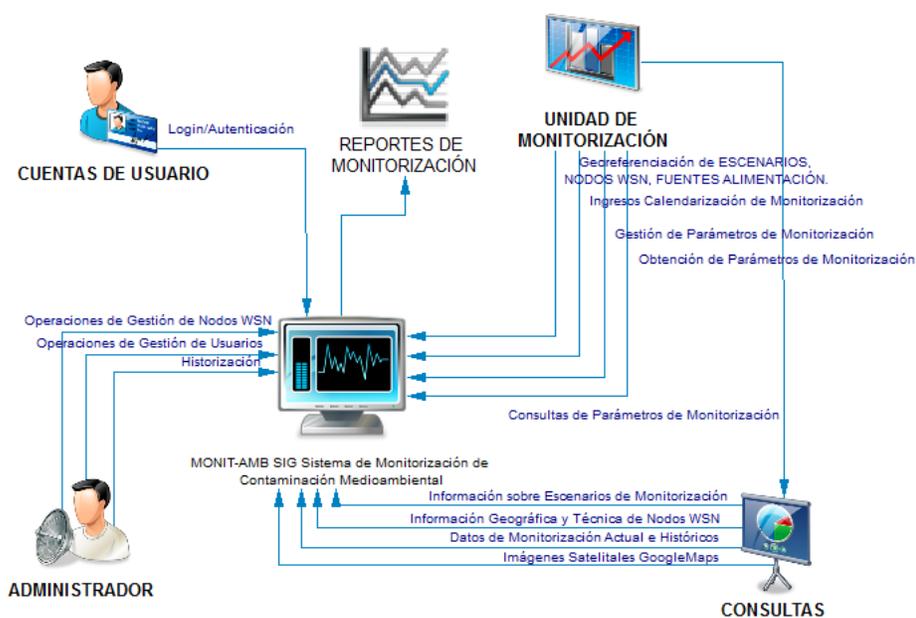


Figura 40: Modelo de Interfaz - Diagrama de Contexto de la aplicación SIGMA.

Capítulo 7

CONCLUSIONES

En este proyecto se ha diseñado una infraestructura tecnológica polivalente basada en sensores inalámbricos con capacidad para monitorizar parámetros ambientales mediante el uso de tecnologías actuales de comunicación inalámbrica, en colaboración de los Sistemas de Información Geográfica que faciliten la gestión de datos de forma georeferenciada.

- En primera instancia, el proyecto debía obtener información sobre los principales parámetros ambientales que originan la contaminación atmosférica, edafológica, hídrica y acústica. En colaboración con técnicos especializados en Gestión Ambiental y apoyados sobre las Normativas Medioambientales disponibles en países de Latinoamérica, se logró definir los posibles escenarios de monitorización categorizados por tipo de contaminación en los que la red sensorial debe ser capaz de adaptarse. Se consideró la limitación de los recursos de fuentes de energía y señal de comunicación.

- El resultado del diseño, depende de un buen análisis. Por ello, se realizó un estudio sobre los principales escenarios donde se implementará la red. Una investigación detallada sobre Tecnologías Sensoriales Inalámbricas permitió identificar los alcances y limitaciones de estas tecnologías para finalmente determinar:
 - a) La importancia de requerimientos externos como *fuerza de carga* y *señal de comunicación*, son indispensables para mantener la operatividad y aumentar el tiempo de vida de la red sensorial.
 - b) La red exige cierto grado de requerimientos a nivel de hardware, por ello se propuso utilizar 3 tipos de nodos: terminales, de infraestructura y estación base. Se logró también identificar las principales tecnologías y estándares de comunicación inalámbricos con las que éstos pueden ser compatibles y la dependencia que guardan con el fabricante del producto.
 - c) El tipo de red a implementar dependerá principalmente de la extensión espacial del escenario a monitorizar. El análisis de las escalas espacial y temporal de monitorización, ayudará a tener una idea clara de la red que se debe implementar.
 - d) El diseño de una plataforma a medida requiere de hardware abierto y libre, además de software que permita programar los dispositivos de acuerdo con los requerimientos. El sistema operativo TinyOS en conjunto con los lenguajes de programación NesC, C++ y las API's que incorporan ciertos productos comerciales, son capaces de lograr una plataforma sensorial fiable y con unas herramientas de desarrollo adecuadas.
 - e) De la forma en que se opere la infraestructura dependerá el adecuado funcionamiento y la vida de la misma. Se definieron los casos de uso que cada tipo de operador de la red puede hacer sobre la infraestructura.

- El objetivo prioritario de este documento, se ha centrado en el diseño la infraestructura tecnológica basada en métricas que consideran las bajas prestaciones que presentan los dispositivos sensoriales en cuestiones de memoria y procesamiento. De esta manera se puede cooperar a aumentar la autonomía energética de la red. Las métricas más importantes que se abarcaron para lograr el diseño fueron:
 - a) Definición de los elementos básicos que deben constituir a cada nodo de la red sensorial, según el rol que este desempeñe: nodo terminal, de infraestructura o estación base.
 - b) La red sensorial puede dar pasos acelerados en cuestiones de escalabilidad, por ello se propuso una arquitectura distribuida enfocada en la creación de clústeres que optimicen las comunicaciones a nivel de la red en general y de los grupos que se formen.
 - c) En cuestión de topología se propuso utilizar una topología en malla jerárquica que, en conjunto con el protocolo de enrutamiento AODV, logre que el consumo de energía por parte de los nodos disminuya, aproximándolo a lo que requerirían en una topología en estrella.

- Finalmente, se concluye que con la fusión de varias tecnologías se puede llegar a resolver problemas grandes y complejos de forma sencilla. Se logró analizar los componentes básicos de un Sistema de Información Geográfica que permiten gestionar los datos que llegan al centro de control desde la red sensorial de forma georreferenciada.
 - a) El sistema de base de datos PostgreSQL, y su extensión espacial PostGis, soportan los datos geográficos relacionados con la localización de los nodos sensoriales y la información temática relacionada con ella.

Se han diseñado las estructuras de datos que almacenan la información que llega al centro de control.

b) Las aplicaciones de software con arquitecturas en tres capas, facilitan el mantenimiento de la aplicación y la escalabilidad en cuanto a incorporar nuevas funcionalidades se refiere. De acuerdo con esta metodología se ha diseñado una aplicación basada en la tecnología Web Mapping, capaz de permitir accesos concurrentes de usuarios a través de la Web.

c) La solución adoptada combina la utilización Map Server como servidor de mapas, PHP y Java como lenguajes de desarrollo SIG, HTML y CSS como herramientas de diseño web y la API de Google Maps para aprovechar la cartografía disponible por el servidor gratuito de Google.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oyarzun Jorge, *Evaluación de Impactos Ambientales*, Universidad La Serena, Chile, 2008.
- [2] Gil María, *Estudio de la eficiencia de encaminamiento del protocolo AODV en redes ad hoc inalámbricas de gran escala*, Universidad Rey Juan Carlos, Ingeniería de Telecomunicaciones, Madrid, 2009.
- [3] Conesa Vicente, *Auditorías Medioambientales: Guía Metodológica*, Segunda Edición, España, 1997.
- [4] Peña Juan, *Sistemas de Información Geográfico aplicados a la gestión del territorio*, Segunda Edición, España, 2008.
- [5] Iturbe Antonio, *Consideraciones conceptuales de los Sistemas de Información Geográfica*, Primera Edición, México, 2009.
- [6] Barti Robert, *Acústica Medioambiental Vol.1*, Editorial Club Universitario Alicante, 2010.
- [7] Niels Aakvaag, Jan-Erik Frey, *Redes de Sensores Inalámbricos, nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial*, Revista ABB/2, 2006.
- [8] Seoáñez Mariano, *Tratado de Gestión del Medio Ambiente Urbano*, Mundi Prensa, España, 2000.
- [9] Saavedra Luis, *ESTUDIO COMPARADO DE DERECHO AMBIENTAL Ecuador-Perú-Bolivia-España: Énfasis en Parámetros de calidad y Límites Máximos Permisibles dentro de actividades extractivas*, INREDH.
- [10] CEPAL – Naciones Unidas, *Estado de situación de las estadísticas ambientales en América Latina y el Caribe al 2008: avances, desafíos y perspectivas*, Santiago de Chile, 2009.

- [11] Ministerio del Ambiente Ecuador, *Libro IV del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) – normas técnicas para la prevención y control de la contaminación ambiental para sectores de infraestructura*, Ecuador, 2005.
- [12] Palma A., *Análisis de protocolos de enrutamiento para redes de sensores inalámbricas*, 2009, Sistemas de Redes de Telecomunicaciones Universidad Carlos III de Madrid.
- [13] Acedo M., *Revisión del proceso de identificación de nodos en las Wireless Sensor Network*, Revista electrónica de estudios telemáticos – Rafael Belloso, México, 2008.
- [14] Corti Rosa, *Clustering Dinámico para tiempo de encendido mínimo en Redes Inalámbricas de Sensores (CLUDITEM)*, Facultad de Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional del Rosario, Argentina.
- [15] Aguilar J., *Un algoritmo de enrutamiento distribuido para redes de comunicación basado en sistemas de hormigas*, IEEE Latin America Transactions, Vol. 5, Núm. 8, 2007.
- [16] D. Digón, B. Bordetas, A. Otín, N. Medrano, S. Celma, *Implementación de una red sensorial inalámbrica (WSN)*, 2005, Universidad de Zaragoza - España, **disponible en:** <http://taee2008.unizar.es/papers/p118.pdf>
- [17] Ortiz Óscar, *Caracterización de Calidad de Servicios en Redes de Sensores*, Universidad Politécnica de Madrid.
- [18] Menéndez Abraham, *Red de sensores inalámbricos para monitorización de terrenos mediante tecnología IEEE 802.15.4*, Universidad de Valencia, **disponible en:** http://w3.iec.csic.es/ursi/articulos_modernos/articulos_gandia_2005/articulos/SC4/563.pdf
- [19] Perkins, C.; Belding-Royer, E.; Das, S. (2003) *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*, **disponible en:** <https://tools.ietf.org/html/rfc3561>

ANEXOS

Anexo A: Principales parámetros ambientales y de contaminación atmosférica, hídrica, edafológica y acústica.

 Fuente de Energía
  Señal de Transmisión de Datos
 Disponibilidad
 No disponibilidad

CATEGORÍA: Climatológico – Parámetros Generales.					
FUENTE	TIPO FUENTE	POSIBLES ESCENARIOS			PARÁMETRO
Atmósfera (ambiente natural)	Fija	Puntos estratégicos	<input checked="" type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>	(1) Temperatura Ambiental (2) Lluvia (3) Nubosidad (4) Presión atmosférica (5) Radiación solar (6) Humedad relativa (7) Velocidad del viento (8) Dirección del viento (9) Precipitación.

Tabla 24: Principales parámetros climatológicos, fuentes generadoras, posibles escenarios sujetos a monitorización, disponibilidad de alimentación de los nodos y disponibilidad de medios de transmisión de datos.

CATEGORÍA: Contaminación Acústica – Parámetros Generales					
FUENTE	TIPO FUENTE	POSIBLES ESCENARIOS			PARÁMETRO
- Industrial - Comercial - Artística + Urbano Aeronaves Motorizados Locomotoras Construcción I. Eléctricas I. Climatización Peatones Bocinas - Alarmas Animales	Fija y Móvil	- Locales espectáculos - Locales comerciales - Industrias - Construcciones civiles de gran envergadura - Autopistas o vías de alto tránsito (urbano, de carga y motorizados) - Aeropuertos - Zonas de recreación	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	(1) Presión sonora

Tabla 25: Principales parámetros de contaminación acústica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.

CATEGORÍA: Contaminación Atmosférica – Parámetros de Partículas de Suspensión.					
FUENTE	TIPO FUENTE	POSIBLES ESCENARIOS			PARÁMETRO
- Polvos minerales - Nieblas ácidas - Nieblas de pesticidas - Humos metálicos - Gases de escapes	Fija	- Plantas de electricidad - Industrias químicas - Refinerías de petróleo - Fábricas - Vertederos - Plantas tratamiento de aguas - Chimeneas - Zonas volcánicas activas - Autopistas o vías de alto tránsito (urbano, de carga y motorizados) - Aeropuertos - Puertos marítimos - Terminales Terrestres	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	(1) Partículas Totales PM₁₀ Material particulado de diámetro aerodinámico a 10 micrones PM_{2,5}
CATEGORÍA: Contaminación Atmosférica – Parámetros de Gases y Vapores.					
- Industria - Acuicultura - Minería - Transporte - Municipales	Fija Móviles	- Plantas de electricidad - Industrias químicas - Refinerías de petróleo - Fábricas - Vertederos - Plantas tratamiento de aguas - Bosques (incendios) - Chimeneas - Autopistas o vías de alto tránsito (urbano, de carga y motorizados) - Aeropuertos - Puertos marítimos - Terminales Terrestres	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	(2) Dióxido de azufre SO ₂ (3) Dióxido de nitrógeno NO ₂ (4) Monóxido de carbono CO (5) Oxidantes Fotoquímicos (Ozono)
CATEGORÍA: Contaminación Atmosférica – Parámetros de Olores.					
- Mecánicas - Industria	Fija	- Zonas de alto grado de plantación. - Zonas volcánicas activas - Industrias químicas	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	(6) Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) (7) Disulfuro de carbono (CS ₂) (8) Mercaptano (R-SH/R1-S-R2)

Tabla 26: Principales parámetros intrínsecos y de contaminación atmosférica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.

CATEGORÍA: Contaminación Edafológica – Parámetros Generales.					
FUENTE	TIPO FUENTE	POSIBLES ESCENARIOS			PARÁMETRO
- Ambiente natural	Fija	- Áreas protegidas - Escenarios de captura de parámetros inorgánicos y orgánicos	<input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐	<input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐	(1) Conductividad (2) pH (3) Humedad (4) Temperatura
CATEGORÍA: Contaminación Edafológica – Parámetros Inorgánicos.					
- Agricultura - Industria - Acuicultura - Minería - Servicio Municipales	Fija	- Zonas de explotación minera - Zonas de exploración y Explotación de hidrocarburos - Granjas - Vertederos municipales - Zonas agrícolas - Zonas industriales químicas y varias	<input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/>	(5) Arsénico (6) Azufre (7) Cadmio (8) Cobre (9) Cromo (10) Cianuro (11) Mercurio (12) Plata (13) Plomo (14) Zinc
CATEGORÍA: Contaminación Edafológica – Parámetros Orgánicos.					
- Mecánicas - Petrolíferas	Fija	- Talleres mecánicos - Lubricadoras - Zonas de exploración y Explotación de hidrocarburos - Ducto - Poliducto	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐ <input checked="" type="checkbox"/> /☐	(15) Aceites y Grasas (16) Hidrocarburos (17) Fenoles

Tabla 27: Principales parámetros intrínsecos y de contaminación edafológica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.

CATEGORÍA: Contaminación Hidrológica – Parámetros Físicos					
FUENTE	TIPO FUENTE	POSIBLES ESCENARIOS			PARÁMETRO
- Ambiente natural - Acuicultura - Minería - Municipios	Fija	- Mares y océanos - Aguas superficiales ríos, lagos y lagunas - Aguas subterráneas acuíferos, pozos, manantiales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(1) Turbidez (2) Olor / Sabor (3) Color (4) Temperatura
CATEGORÍA: Contaminación Atmosférica – Parámetros Químicos.					
- Agricultura - Industria - Acuicultura - Minería - Lubricadoras - Hidroeléctricas - Petroleras - Servicios Municipales - Población - Transporte fluvial y marítimo - Turismo - Erupciones volcánicas	Fija	- Mares y océanos - Aguas superficiales ríos, lagos y lagunas - Aguas subterráneas acuíferos, pozos, manantiales - Puertos marítimos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	(5) pH (6) Salinidad (7) Aceite y Grasas (8) Oxidantes Fotoquímicos (9) Aluminio (10) Amoniac (11) Amonio (12) Arsénico (13) Bario (14) Cadmio (15) Cianuro (16) Cloruro (17) Cobre (18) Coliformes fecales (19) Cromo Hexavalente (20) Dureza (21) PBC (22) Fluoruro (23) Hierro (24) Manganeseo (25) Mercurio (26) Nitratos y Nitritos (27) Oxígeno Disuelto (28) Plata (30) Plomo (31) Potencial de hidrógeno (32) Selenio (33) Sulfato (34) Zinc (35) Hidrocarburos Aromáticos (36) Pesticidas y Herbicidas (37) Compuestos Halogenados

Tabla 28: Principales parámetros intrínsecos y de contaminación hídrica, fuentes generadoras y posibles escenarios sujetos a monitorización.

Anexo B: Requerimientos de fuentes de alimentación y medio de transmisión inalámbrica de los nodos de la red sensorial según escenarios de monitorización.

Disponibilidad  No disponibilidad

Fuente:	Fija/Móvil		
E. Disponibilidad	Fuentes de Alimentación		Señal de Transmisión
Escenarios			
INSTALACIÓN FIJA (captura automática)	<p><u>Superficie Terrestre:</u> Recomendación: Corriente alterna. Alternativas: Células fotovoltaicas, Baterías recargables. <u>Bajo agua:</u> Recomendado: Baterías recargables. Alternativas: Baterías recargables, Pilas eléctricas. <u>Bajo suelo:</u> Baterías recargables, Células fotovoltaicas, Pila eléctrica, Electrógeno.</p>	<p><u>Superficie Terrestre:</u> Recomendación: Células fotovoltaicas, Baterías recargables, Electrógeno. Alternativas: Energía eólica, Vibraciones o cambios de presión (materiales piezoeléctricos). Investigaciones podrían permitir en poco tiempo la utilización de baterías bioenergéticas generada de los árboles. <u>Bajo agua:</u> Igual que I. Fija. <u>Bajo suelo:</u> Igual que I. Fija.</p>	WIFI, RFID, VIMAX, GSM/GPRS. Depende de si los datos deben viajar a nivel de intraclúster, interclúster o al centro de control. Contratación de servicio satelital.
INSTALACIÓN PROVISIONAL (captura automática o manual dependiendo de la situación)	<p><u>Sobre y Bajo la Superficie Terrestre:</u> Recomendación: Corriente alterna, Baterías recargables, pila eléctrica. <u>Bajo agua:</u> Recomendación: Baterías recargables.</p>	<p>Recomendación Baterías recargables, Pilas. Alternativa Células Fotovoltaicas o energía eólica.</p>	

Tabla 29: Requerimientos de fuentes de carga y medio de transmisión de datos de la red sensorial inalámbrica según las condiciones y escenarios de monitorización.

Anexo C: Enrutamiento AODV⁵ (Destination-Sequenced Distance-Vector)

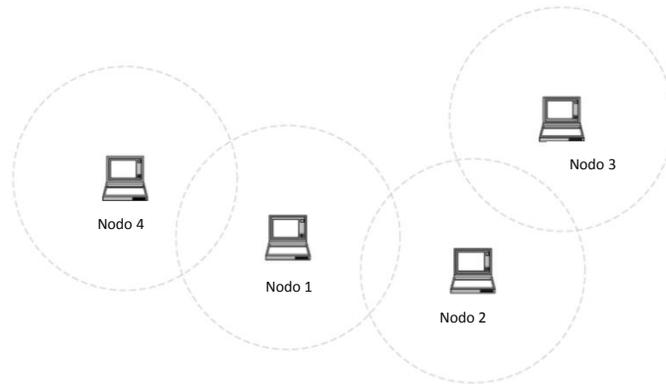


Figura 41: Radio de Cobertura de Nodos Inalámbricos.

- Los nodos que pueden comunicarse directamente se denominan vecinos.
- Un nodo tiene conocimiento sobre sus nodos vecinos mediante la escucha de un mensaje cada cierto intervalo de transmisión.
- Cuando un nodo necesita enviar un mensaje a un nodo que no es su vecino, éste transmite un mensaje RREQ (Rout Request).
- Un mensaje RREQ contiene: identificador, Dirección de Destino, Número Secuencia Destino, Dirección Origen y Número Secuencia Origen.

En la siguiente figura se muestra 4 nodos inalámbricos que ilustra el rango de cobertura de cada uno de ellos.

AODV:

- Permite pasar mensaje entre vecinos que no se encuentren directamente conectados.
- Descubre rutas por donde deben pasar los mensajes.
- Asegura que las rutas no tengan bucles y trata de encontrar la ruta más corta.
- Maneja cambios en las rutas y crea nuevas si ocurre un error.

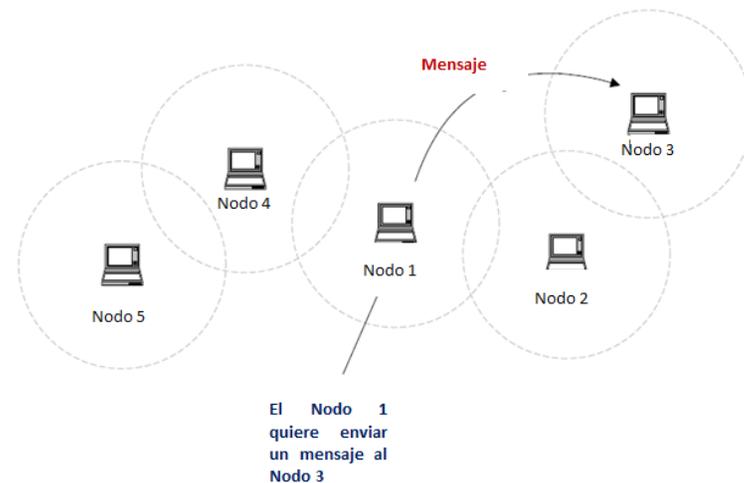
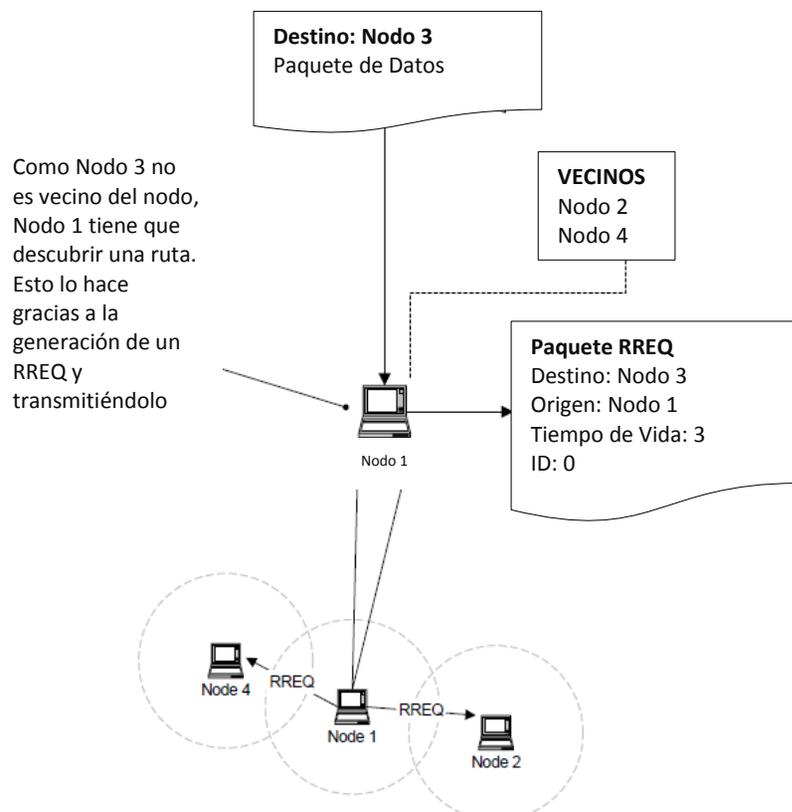


Figura 42: Nodo inalámbrico Emisor y Receptor en comunicación inalámbrica.

⁵ Luke, K., NIST – Instituto Nacional de Estándares y Tecnología. EEUU



- Si en la Figura 42, el Nodo 1 desea enviar un mensaje al Nodo 3, los vecinos del Nodo 1 son: Nodo 2 y Nodo 4.
- Como el Nodo 1 y Nodo 3 no son vecinos, no pueden comunicarse directamente, éste envía un mensaje RREQ al Nodo 4 y al Nodo 2.

Figura 43: Mensaje RREQ en enrutamiento AODV.

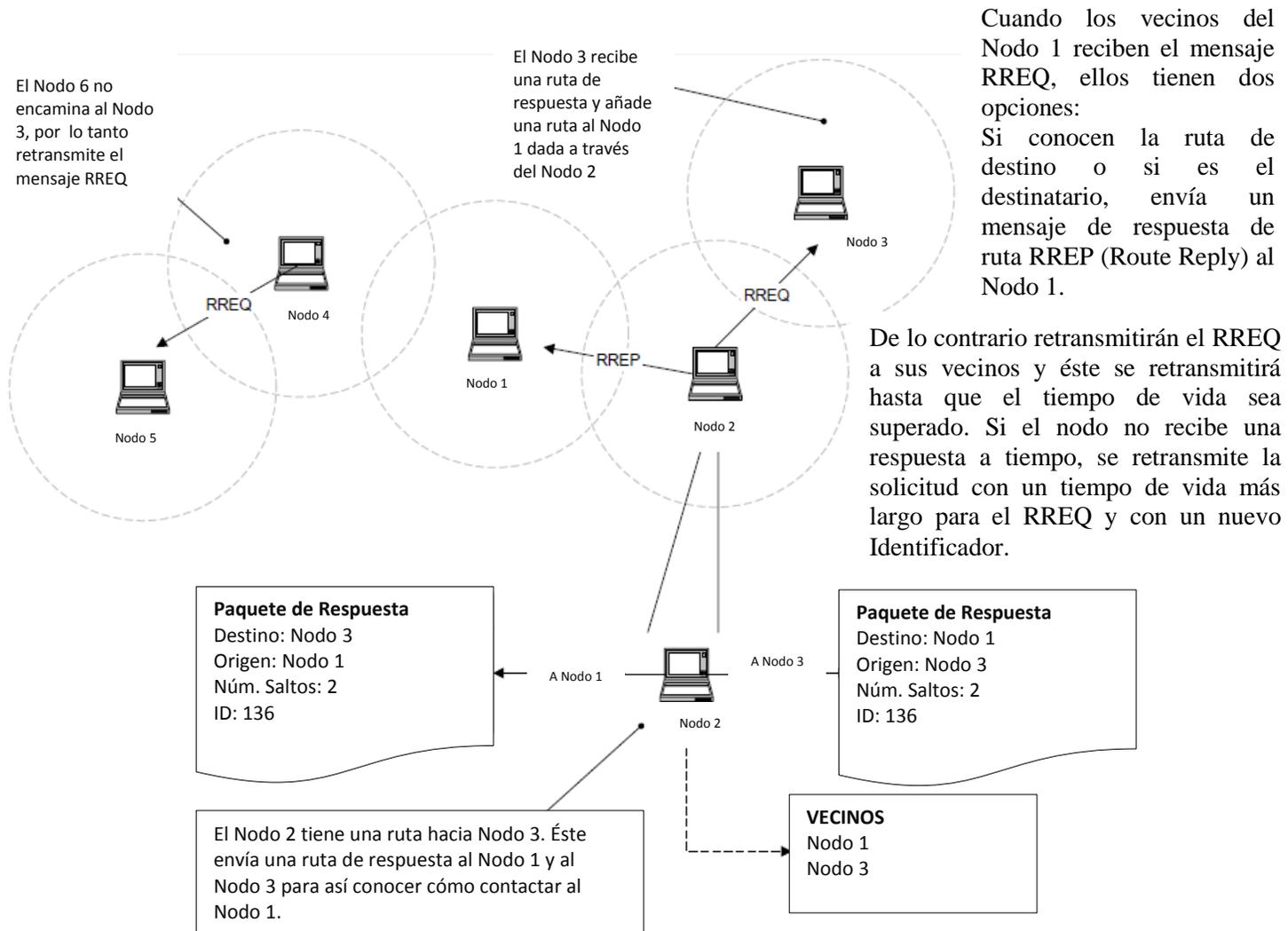
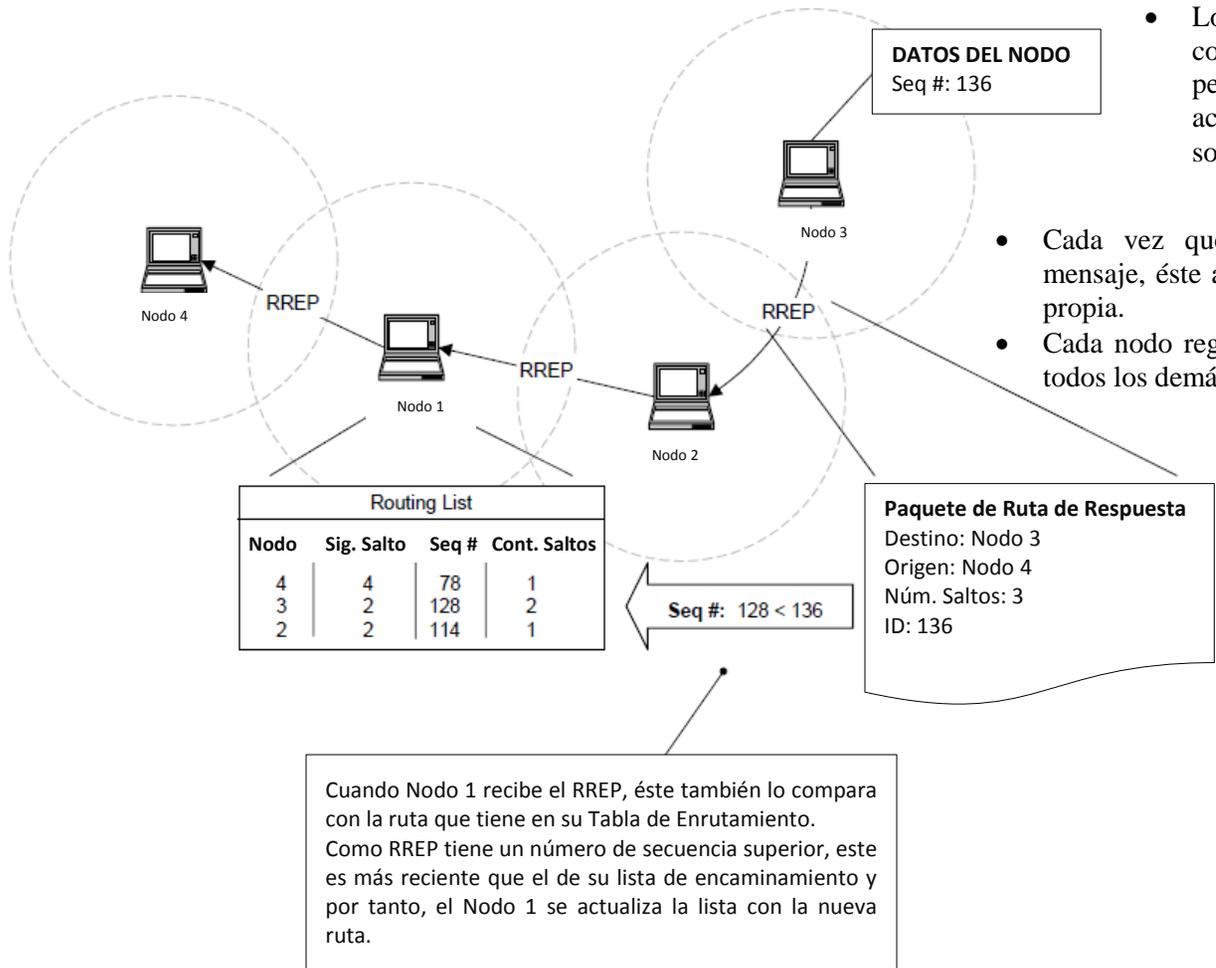


Figura 44: Mensaje RREP en enrutamiento AODV.

Todos los nodos usan un Número de Secuencia en el RREQ para asegurarse que no retransmitan un RREQ.



Números de Secuencia.

- Los números de secuencia sirven como marcas de tiempo que permiten a los nodos saber cuán actualizada está su información sobre los otros nodos.
- Cada vez que un nodo envía un tipo de mensaje, éste aumenta su número de secuencia propia.
- Cada nodo registra el número de secuencia de todos los demás nodos con los que enlaza.
- Los números de secuencia más altos significan una mejor ruta.
- Esto posibilita que otros nodos puedan averiguar cuál tiene información más precisa.

Figura 45: Número de Secuencia en enrutamiento AODV.

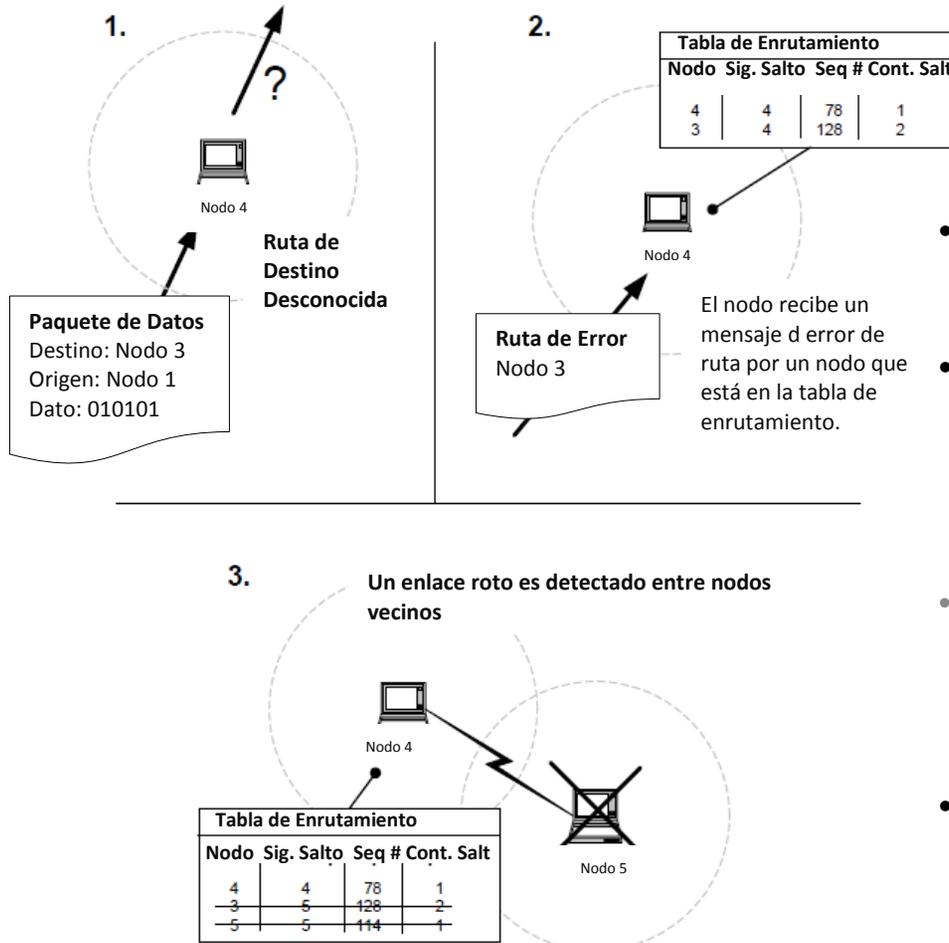


Figura 46: Mensajes de Error en enrutamiento AODV.

Mensajes de Error.

- Los mensajes de error de ruta (RERR) permiten a AODV ajustar las rutas cuando los nodos se han movido.
- Cada vez que un nodo recibe un RERR, se ve en la tabla de enrutamiento y se elimina todas las rutas que contienen los nodos malos.
- En el primer caso el nodo recibe un paquete de datos que se desea transmitir; pero no tiene una ruta hacia el destino. El verdadero problema no es que el nodo no tiene una ruta, el problema es que otros nodos piensan que la ruta correcta al destino es a través de ese nodo.
- En el segundo escenario el nodo recibe un RERR causado porque al menos una de sus rutas no es válida. Si esto ocurre el nodo debería enviar un RERR con todos los nuevos nodos que no fueron accesibles.
- En el tercer caso el nodo detecta que no puede comunicarse con uno de sus vecinos. Cuando esto sucede se ve en la tabla de rutas que utilizan los vecinos para dar un próximo salto y las marcas como no válidas. Entonces se envía un RERR con el vecino y las rutas no válidas.

Anexo D: Modelo Relacional de la Base de Datos Geográfica y Temática de la aplicación SIGMA

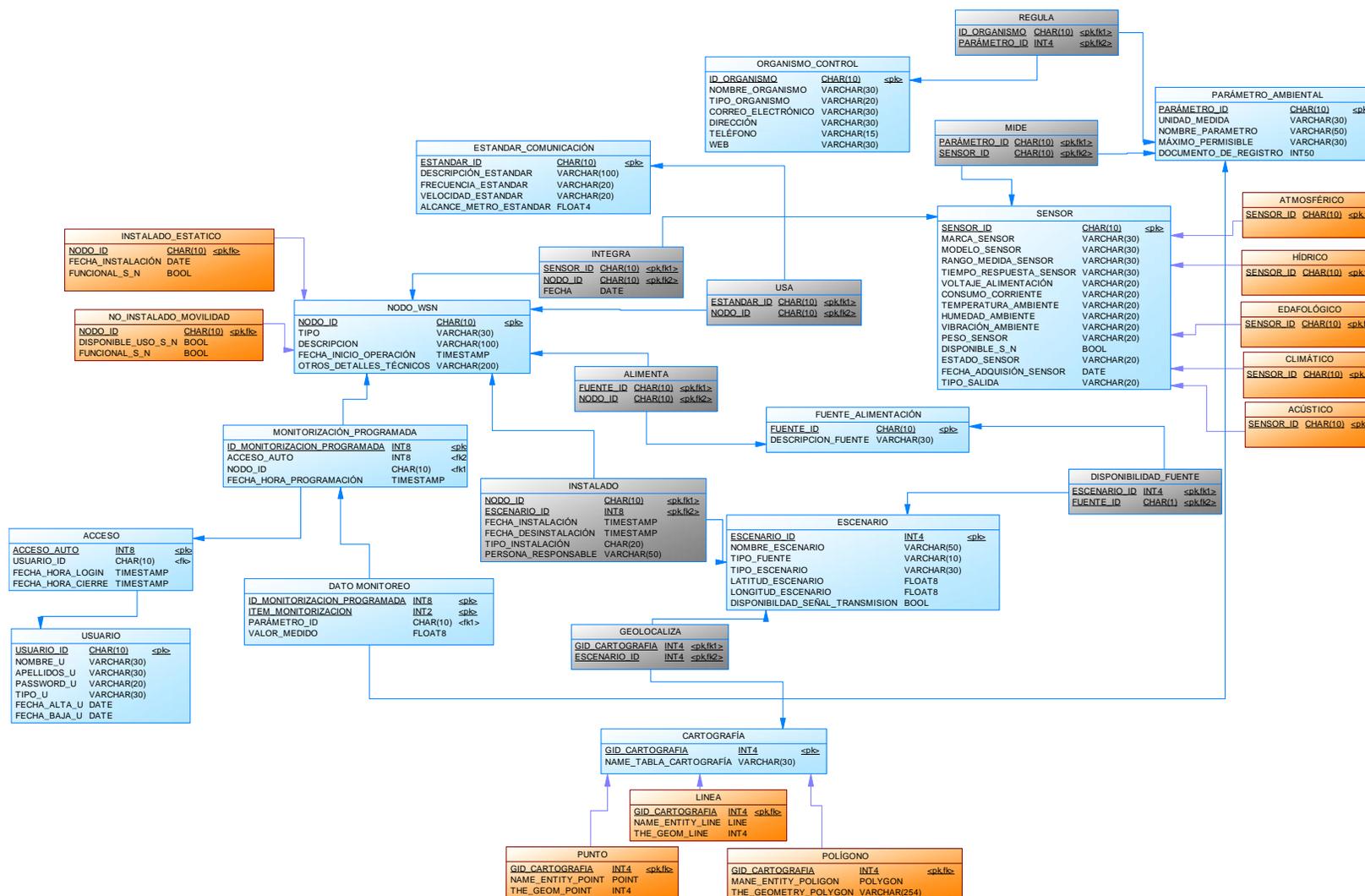


Figura 47: Modelo Relacional de la aplicación SIGMA.