

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE GESTIÓN DE UNA RED DE SENSORES APLICADA A LA MONITORIZACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL EN LA CUENCA DEL RÍO NAPO

Tesis para optar el Título de **Ingeniero de las Telecomunicaciones**, que presenta
el bachiller:

Joel Orlando Aragon Valladares

ASESOR: Ing. Alan Ramírez García

Lima, julio de 2014

Resumen

En el capítulo 1, se presentan y desarrollan conceptos generales vinculados al entendimiento de la tesis, tanto en el contexto (i) ambiental, como en el de desarrollo de (ii) sistemas de monitorización y (iii) redes de sensores. Haciendo referencias a información estadística, describiendo el marco normativo y legal, y desarrollando a nivel técnico los elementos de red relacionados.

En el capítulo 2, se analiza la problemática particular, en la zona del río Napo en la provincia de Maynas, bajo la metodología de marco lógico, estableciendo e identificando las causas que la originan y los efectos producidos. Asimismo, se plantean los árboles de medios-fines con los cuales se aproxima e interpreta las soluciones adecuadas contra esa problemática. Teniendo esto, se plantea la hipótesis, delimitada a los requerimientos y la infraestructura de soporte del GTR-PUCP.

En el capítulo 3 se analiza, diseña y desarrolla la plataforma que identifica y considera las funcionalidades de los módulos relacionados.

En el capítulo 4 se analiza y valida el sistema desarrollado a través de la verificación de las funcionalidades, pruebas de estrés, y usabilidad de usuarios.

Las conclusiones sintetizan los resultados de las pruebas y las recomendaciones registran las consideraciones para el proyecto desarrollado y para los trabajos futuros.

Dedicatoria



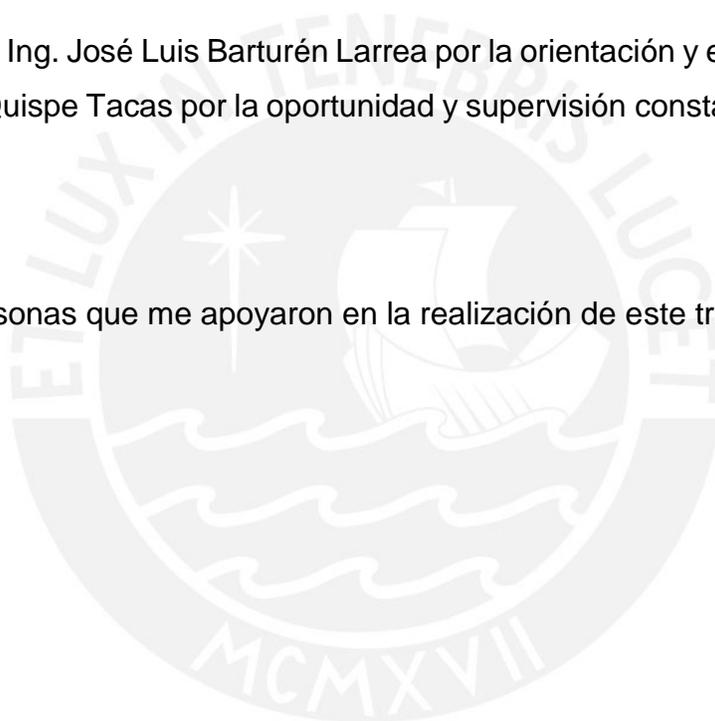
A mis padres.

Agradecimientos

A los profesores y compañeros de la especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones por la formación y aliento recibido.

A mi asesor y al Ing. José Luis Barturén Larrea por la orientación y el apoyo recibido, y al Ing. River Quispe Tacas por la oportunidad y supervisión constante del proyecto realizado.

A todas las personas que me apoyaron en la realización de este trabajo.



Índice

Lista de figuras	6
Lista de tablas	8
Introducción	9
Capítulo 1 Marco Teórico	10
1.1. Redes de sensores	10
1.1.1. Elementos	10
1.1.2. Características	11
1.1.3. Arquitectura	13
1.1.4. Clasificación	17
1.1.5. Aplicaciones	19
1.1.6. Estándares y recomendaciones	21
1.2. Sistemas de monitorización	24
1.2.1. Middleware de una red de sensores	24
1.2.2. Servicio Web	26
1.2.3. Base de datos	28
1.2.4. Casos de desarrollo	33
1.3. Sector ambiental en el Perú y el mundo	39
1.3.1. Estándares de mediciones de impacto y/o contaminación ambiental ..	39
1.3.2. Situación y perspectivas	43
1.3.3. Normatividad y regulación	48
Capítulo 2: Identificación y diagnóstico de la problemática	55
2.1. Diagnóstico de la situación actual	55
2.1.1. Problemática	55
2.1.2. Identificación de involucrados	58
2.2. Definición del problema, sus causas y efectos	60
2.2.1. Causas	60
2.2.2. Problema central	60
2.2.3. Efectos	60
2.2.4. Efecto Final	60
2.2.5. Árbol de problemas	60
2.2. Definición del objetivo, sus medios y fines	62

2.2.1. Medios	62
2.2.2. Objetivo central.....	62
2.2.3. Fines	62
2.2.4. Efecto Final	62
2.2.5. Árbol de objetivos.....	62
2.2.5. Árbol de objetivos modificado.....	64
2.2.6. Relación entre los medio fundamentales.....	65
2.3. Alternativa de solución.....	65
2.3.1. Hipótesis.....	65
2.3.2. Objetivos	65
2.3.3. Modelo y antecedentes.....	66
2.3.4. Escenario.....	68
Capítulo3: Análisis y diseño	70
3.1 Metodología.....	70
3.2 Diagrama de casos de uso	70
3.3 Diagrama de clases.....	76
3.4 Diagrama de despliegue	79
Capítulo 4: Implementación y validación	82
4.1. Herramientas fundamentales	82
4.2 Prototipos o Interfaces	85
4.2.1 Acceso inicial.....	85
4.2.2. Gestión del entorno de monitorización.....	87
4.2.3. Gestión de redes de sensores	91
4.3 Pruebas y validación.....	94
4.3.1. Pruebas de estrés	94
4.3.2. Validación POST TEST	97
Conclusiones	100
Recomendaciones y trabajos futuros	101
Bibliografía.....	102

Lista de figuras

Figura 1.1 Diagrama de operatividad de red de sensores.....	10
Figura 1.2 Arquitectura de un nodo sensor	13
Figura 1.3 Arquitectura plana y jerárquica de redes de sensores.....	15
Figura 1.4 Topologías de redes de sensores	16
Figura 1.5 Diagrama de operatividad para la monitorización.....	24
Figura 1.6 Capa de Middleware	25
Figura 1.7 Arquitectura de una plataforma web para sensores	27
Figura 1.8 DSMS y DBMS	29
Figura 1.1 Contaminación del medio ambiente y número de muertes por regiones	55
Figura 2.2 Contaminación del agua y número de muertes por regiones	56
Figura 2.3 Contaminación del aire y número de muertes por regiones	56
Figura 2.4 Árbol de problemas.....	61
Figura 2.5 Árbol de objetivos	63
Figura 2.6 Árbol de objetivos modificado	64
Figura 2.7 Red de sensores de calidad de aire.....	67
Figura 2.8 Red de sensores de calidad de agua.....	67
Figura 2.9 Escenario.....	68
Figura 3.1 Diagrama de casos de uso: registrar cuenta	71
Figura 3.2 Diagrama de casos de uso: crear reporte	72
Figura 3.3 Diagrama de casos de uso: gestionar redes de sensores	73
Figura 3.4 Diagrama de casos de uso: acceder a un ambiente de monitorización	74
Figura 3.5 Diagrama de casos de uso: gestionar ambiente de monitorización.....	75
Figura 3.6 Diagrama de casos de uso: gestionar alertas	76
Figura 3.7 Diagrama de clases	78
Figura 3.8 Diagrama de despliegue	81
Figura 4.1 Portada de la Plataforma de Monitorización.....	85
Figura 4.2 Registro de cuenta.....	86
Figura 4.3 Actualizar información de usuario	87
Figura 4.4 Listado de data recolectada	87
Figura 4.5 Entorno de monitorización en tiempo real	88

Figura 4.6 Entorno de monitorización en tiempo real según sensores por nodo	89
Figura 4.7 Comparación con estándar de Límite Máximo Permisible para el sensor de Oxígeno Disuelto	90
Figura 4.8 Selección y resultado de un rango para realizar un zoom	90
Figura 4.9 Selección de un período y comparación con otro sensor	91
Figura 4.10 Registro de sensor y de parámetro	92
Figura 4.11 Actualización de estándares de calidad ambiental	93
Figura 4.12 Generación de reporte de alertas.....	94
Figura 4.13 Notificación de alertas.....	94
Figura 4.14 Consumo de CPU	96
Figura 4.15 Consumo de memoria RAM.....	96
Figura 4.16 Facilidad de Uso	97
Figura 4.17 Funcionalidad de la plataforma	98
Figura 4.18 Tiempo de respuesta de la plataforma	98
Figura 4.19 Utilidad de la plataforma	99

Lista de tablas

Tabla 1.1 Clasificación de base de datos según su arquitectura	31
Tabla 1.2 Sistema distribuido de base de datos	32
Tabla 1.3 Arquitectura de sistema servidores	33
Tabla 1.4 Comparación de Middleware	36
Tabla 1.5 Comparación de Service Web	37
Tabla 1.6 Comparación de GUI	38
Tabla 1.7 Estándares nacionales de calidad ambiental del aire	40
Tabla 1.8 Estándares nacionales de calidad ambiental del agua	41
Tabla 1.9 Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales	42
Tabla 1.10 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas	43
Tabla 1.11 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas	43
Tabla 1.12 Lineamientos políticos para la conservación y aprovechamiento sostenible... 51	51
Tabla 1.13 Lineamientos políticos para la gestión integral de la calidad ambiental	52
Tabla 1.14 Lineamientos políticos para la gobernanza ambiental	53
Tabla 1.15 Lineamientos políticos de compromisos y oportunidades ambientales internacionales	54
Tabla 2.1 Problema – efecto contaminación ambiental	55
Tabla 2.2 Problema – efecto tala	57
Tabla 2.3 Identificación de involucrados	59
Tabla 2.4 Infraestructura GTR – PUCP	66
Tabla 4.1 Características técnicas de las herramientas empleadas	84
Tabla 4.2 Características técnicas del servidor web	95

Introducción

Es sabido que, a nivel global, existen serios, peligrosos e irreversibles daños al ambiente producto de la actividad humana. La Organización Mundial de la Salud afirma que la contaminación atmosférica del planeta es responsable de 1,3 millones de muertes anuales, así como la falta de agua potable o la ausencia de letrinas, de 3 millones más.

Desde hace décadas la cuenca de río Napo se encuentra afectada por materiales químicos dañinos y desechos de origen mineral y que; además, no se han calculado periódicamente y con precisión; por tanto, no se ha cuantificado el daño que han provocado en la salud de los pobladores aledaños, en la calidad del agua del río y en general, en la armonía del ecosistema ambiental.

Bajo estas consideraciones, el presente trabajo pretende desarrollar una plataforma que complemente la monitorización de la calidad de aire y agua en una zona en particular, siendo ésta la cuenca de río Napo en Maynas, soportándose en la infraestructura desplegada por el GTR-PUCP. La plataforma de monitorización comprende los subsistemas *Middleware*, *Service Web* y una interfaz gráfica de usuario para identificar el estado de la calidad del aire y del agua del ambiente de la zona. El procesamiento y disposición de la data obtenida permitirán (i) que se conozcan cuantitativamente los niveles de contaminación en la zona y su evolución; y (ii) que se disponga de información periódica para contrarrestar los efectos negativos.

El siguiente trabajo se circunscribe a la zona de Maynas y su alcance comprende la integración a nivel técnico del sistema desarrollado en la infraestructura desplegada por el GTR-PUCP (Proyecto CELA), con los objetivos de desarrollar un sistema de información para las redes de sensores de calidad de agua y de aire y mostrar el comportamiento periódico de la data recolectada por los sensores almacenada en una base de datos a través de una interfaz Web.

1. Capítulo 1 Marco Teórico

1.1. Redes de sensores

Una red de sensores está compuesta por uno o más nodos sensores, que interactúan entre ellos con el objetivo de monitorizar parámetros físicos, químicos o biológicos de un entorno geográfico, enviando la información censada a uno o más elementos encargados de almacenar esta información. El diagrama de operatividad se muestra en la figura 1.1.

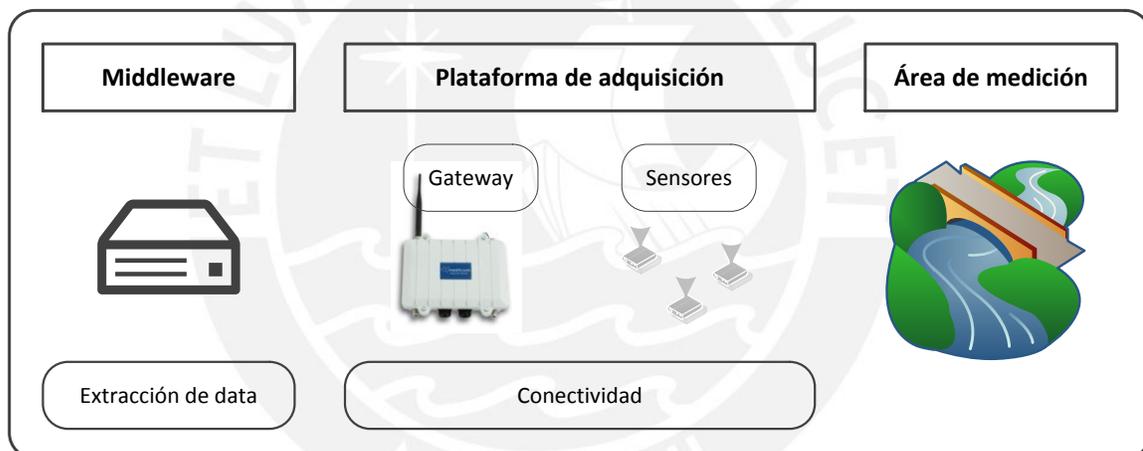


Figura 1.1 Diagrama de operatividad de red de sensores

1.1.1. Elementos

- Sensor

Dispositivo electrónico que detecta una condición física o un compuesto químico, el cual envía una señal eléctrica proporcional a la característica observada. [ITU-2221]

- Nodo sensor o *gateway*

Dispositivo que al menos posee un sensor, además tiene capacidades de procesar la información censada y de *networking*. [ITU-2221]

- Red de sensores

Red integrada de nodos sensores interconectados alámbrica o inalámbricamente (WSN, Wireless Sensor Network) que intercambian datos adquiridos. [ITU-2221]

- Red de sensores ubicuos (USN, Ubiquitous Sensor Network)

Red conceptual elaborada sobre redes físicas existentes que hacen uso de la información recolectada ofreciéndola como un servicio de conocimiento a cualquier persona, sin importar donde se encuentre y en qué momento sea usado; la información es generada gracias al reconocimiento del entorno. [ITU-2221]

- USN Middleware

Un conjunto de funciones lógicas y herramientas basadas en software que respaldan las aplicaciones y servicios de USN.

1.1.2. Características

Algunas características particulares de las redes de sensores inalámbricos son la disponibilidad de recursos, la forma de comunicación y las capacidades de direccionamiento; asimismo, poseen características similares a una red estándar *ad-hoc* o *multi-hop*.

- Recursos limitados

El tamaño de los sensores es muy variable, ello limita, a pesar de la tendencia de miniaturización, sus capacidades de procesamiento, almacenamiento, capacidad de comunicación. Uno de los recursos más esenciales es la energía, ya que de ella depende el período de autonomía en estado activo o

inactivo (que pueden ser horas, meses e inclusive años). El período de vida de un sistema de sensores depende individualmente de los sensores, asimismo, la carencia de energía en los elementos que realizan el enrutamiento, el procesamiento de información y las configuraciones automáticas afectará todo el sistema [WSNT-IEA].

- Gran número de sensores

Actualmente se despliega una gran cantidad de sensores para diversas aplicaciones debido a sus ventajas y bajo costo de producción. Si se tiene mayor número de sensores, la precisión de adquirir datos aumentará y se preverá la pérdida de información debido a fallas. Sin embargo, esto aumenta las complejidades de organización y procesamiento de datos; y en consecuencia, los protocolos de enrutamiento y técnicas de procesamiento deberán considerar el número de elementos de la red de sensores. [WSNT-IEA].

- Data-centric routing- Enrutamiento basado en datos

Los nodos en las redes de sensores no poseen una sola dirección o identificador, ya que están orientados en su mayoría a la información recolectada. Es decir, los sensores están identificados por el lugar donde se encuentran y la información que obtienen de éste, en lugar de que posean una dirección IP, por ejemplo, como sucede en las redes tradicionales. [WSNT-IEA].

- Desafiante intercomunicación

Las WSNs emplean tecnologías de comunicación inalámbrica, ofreciendo flexibilidad y bajos costos de implementación. Debido a que el rango de transmisión que alcanza un nodo sensor es limitado, se emplea una solución basada en una comunicación *multi-hop*. Además, existen diversas limitaciones en la propagación que crean una incierta y variable calidad de enlace que los protocolos de comunicación para WSN deben suplir. [SEVW-NTS]

Otra característica a tomar en cuenta, es el mínimo requerimiento de ancho de banda y su reutilización si se compara con otras tecnologías de *networking* ya que la información recolectada por los sensores es codificada usando un número limitado de bytes y transmitido a una baja tasa; sin embargo, esta última característica depende de la aplicación que se esté empleando. [SEVW-NTS]

1.1.3. Arquitectura

- Arquitectura de un nodo sensor

La arquitectura de una red de sensores debe tener como objetivos cubrir el área deseada con un mínimo número de nodos sensores que cumplan con las limitaciones de Calidad de Servicio (QoS), costo, escalabilidad y confiabilidad para una determinada aplicación, siendo esencial plantear una estrategia de despliegue. [HBW-SN]

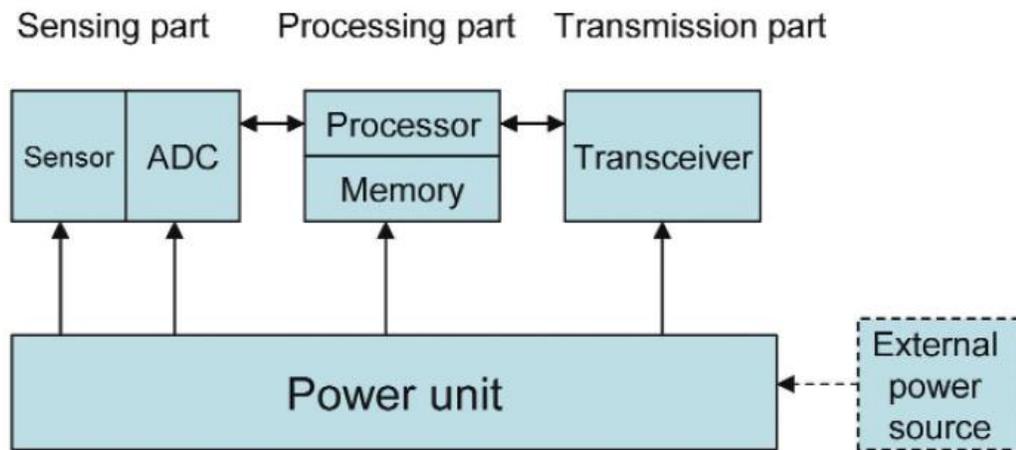


Figura 1.2 Arquitectura de un nodo sensor

Fuente: Sensors Everywhere [SEVW-NTS]

- Arquitectura de redes de sensores

Una red de sensores está compuesta por una gran cantidad de nodos sensores desplegados en un determinado lugar de interés y por uno o más Gateway. Todo el flujo de la data recolectada viaja desde los sensores hacia redes externas. Cada nodo sensor emplea para la transmisión y recepción,

saltos de larga distancia (*single-hop long-distance*), empleando más energía a pesar de ser recurso limitado; o saltos múltiples de corta distancia (*multihop short-distance*), donde los nodos sensores están desplegados cerca a otros logrando que la comunicación a corta distancia sea eficiente respecto al uso de recursos.

La energía consumida en la transmisión es muy alta comparada con los procesos de adquisición de datos y computación [WSN-NP]. Los saltos múltiples de corta distancia permiten reducir el tráfico y la distancia de transmisión, por tanto se ahorra energía y se prolonga el tiempo de vida de la red. Este tipo de arquitectura se organiza en (i) plana y (ii) jerárquica, las cuales serán descritas a continuación:

a) Arquitectura plana – Flat Architecture

En este tipo de topología, cada nodo sensor posee la misma tarea de adquisición de datos y son semejantes. Ellos se comunican con el Gateway mediante rutas de saltos múltiples y emplea los nodos sensores de su entorno como siguiente salto. Asimismo, se usa *data-centric routing* abarcando una determinada cantidad de sensores que cubren una región geográfica específica cuando se realiza una consulta.

b) Arquitectura jerárquica

En esta arquitectura, los nodos sensores se organizan por grupos, donde se tiene un nodo sensor central quien recibe la información de los demás de su grupo, la procesa y la envía al Gateway o nodo principal. Este modelo contribuye a la reducción del uso de energía en la comunicación, al balanceo del tráfico y a la escalabilidad de la red. Inclusive, el nodo sensor central de cada grupo puede, adicionalmente, tener las características de interpretar, reducir y organizar la cantidad de data entregada por los otros, con el objetivo de hacer eficiente el uso de la energía de la red. [WSN-NP]

Por otro lado, la organización en grupos, la selección de los nodos sensores centrales según las distancias entre ellos y los grupos a los que pertenecen,

originan nuevas estrategias de agrupamiento siendo por *single-hop* y *multihop*; así como también, según el número de niveles de agrupamiento en *single-tier* y *multitier clustering*. [WSN-NP]

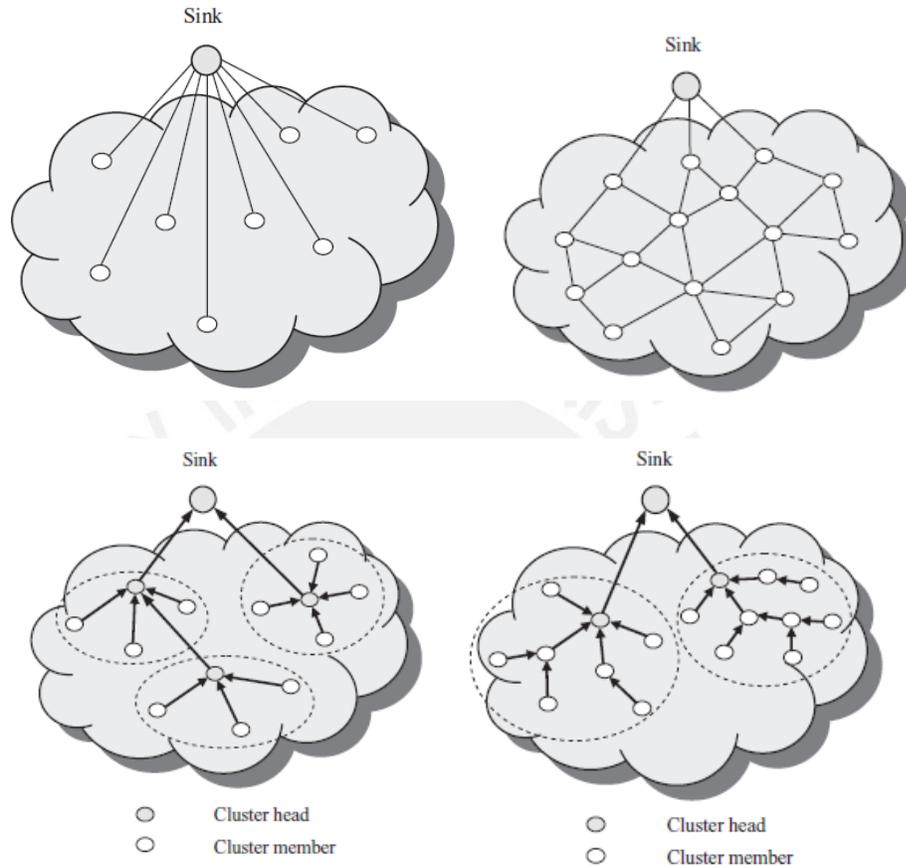


Figura 1.3 Arquitectura plana y jerárquica de redes de sensores

Fuente: WSN Network Perspectives [WSN-NP]

Topologías de WSN – Modelo Tradicional

Entre las principales topologías se hallan los tipos estrella, árbol y malla; pudiendo combinarse entre ellas ya que WSN lo soporta.

- Topología estrella

En esta topología se encuentra el nodo sensor principal en el centro y es quien realiza las tareas de administrar la transmisión de la información recolectada a los nodos aledaños, así como el enrutamiento. Dado que existe solo un

enlace entre los nodos sensores y el principal, confiere la carencia de emplear rutas alternativas para establecer un enlace, por tanto es posible la pérdida de información. En general, ésta es usada en áreas limitadas.

- Topología árbol

Cada nodo sensor posee un nodo superior, el cual será el siguiente salto para enviar la data adquirida y es comúnmente llamado “nodo padre” mientras que los que reportan a estos, “nodos hijos”. Mientras que el nodo a quien se reportan todos es el nodo sensor raíz, que actúa como un *sink-node* en la red. Esta topología no presenta redundancia de enlace, ya que existe una sola forma de llegar al nodo raíz desde cada nodo sensor, estando expuesta a fallas, por ello, en algunas soluciones se colocan más de un nodo raíz.

- Topología malla

Todos los enlaces de comunicación son aprovechados por los nodos sensores, cada uno comunica a los que se encuentran a su alrededor dependiendo del rango de cobertura según su radio y si se ha creado una ruta entre éstos. Por tanto, es adecuada para las aplicaciones donde la comunicación entre todos los elementos de la red es esencial, y no es necesario nodos sensores con mayores características de procesamiento, enrutamiento y almacenamiento. [SEVW-NTS]

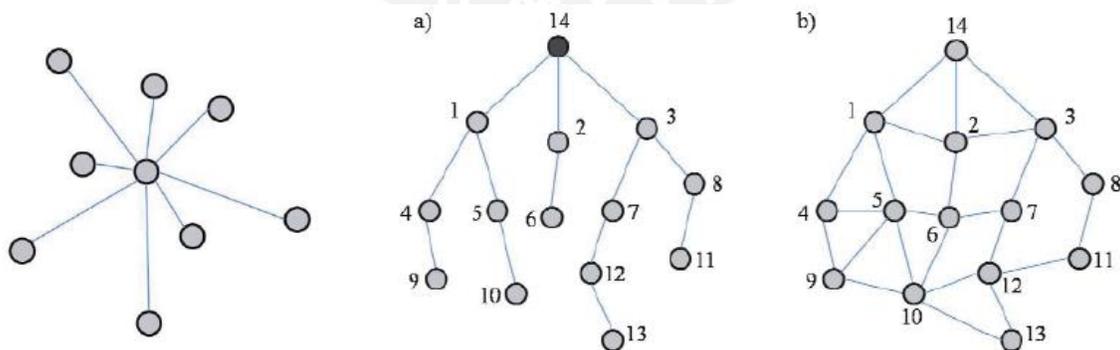


Figura 1.4 Topologías de redes de sensores

Fuente: Sensors Everywhere [SEVW-NTS]

1.1.4. Clasificación

Las redes de sensores inalámbricos poseen características diferentes según su aplicación. Se clasifican en las siguientes categorías: [WSN-NP]

- Red estática y móvil

Conforme a las características de los nodos sensores si son estáticos como en la mayoría de casos, o móviles para llevar a cabo la adquisición de datos como el control de fauna. En éste último tipo de red, se considera la flexibilidad y capacidad de movimiento, haciendo que sea más compleja en la implementación respecto a la red estática de sensores.

- Red determinista y no determinista

Según el posicionamiento de cada elemento de la red de sensores puede ser determinista, si se planeó la posición exacta de los elementos antes de su implementación en el campo; o no determinista, si para la implementación, el despliegue de los elementos es aleatorio debido al difícil y hostil acceso a la región de interés, aumentando la complejidad del control de los nodos sensores y favoreciendo la escalabilidad y flexibilidad de la red.

- Red con (Data-sink) Gateway estático o móvil

El *data-sink* puede ser estático, facilitando su control y el acceso de los nodos sensores por encontrarse en la misma área; sin embargo, cuando todos los nodos sensores cercanos le envían información, el tráfico aumenta significativamente ocasionando que éstos fallen continuamente y dejen de operar (esto es conocido como “el efecto hotspot”). Por el contrario, si el *data-sink* está en constante movimiento alrededor de la región de censado, es posible el balanceo de la carga de los nodos sensores evitando el efecto negativo antes mencionado.

- Red de uno y varios Gateway

La red de sensores puede estar compuesto por un *sink* localizado dentro o cerca del área de adquisición de datos; o de muchos *sink* desplegados dentro y/o cerca de la región de interés disminuyendo el “efecto hotspot” ya que los nodos sensores envían los datos recolectados al *sink* más cercano.

- Red de uno y varios saltos

Conforme a número de saltos que realiza un nodo sensor para que su data sea enviada al “data-sink” se organiza en una red “single-hop” o “multi-hop”. Respecto a la red “single-hop”, debido a que el nodo sensor envía la data directamente se hacen sencillo el control y la implementación, y se reduce costos, pero se consume más energía y procesamiento al tener que recorrer una distancia mayor correspondiente al enlace inalámbrico; por tanto, mientras mayor sea la distancia del nodo sensor al “data-sink”, el tiempo de vida del nodo sensor será menor. A su vez, si se incrementa los nodos sensores, el tráfico en el “data-sink” será mayor e incrementará las posibilidades de colisiones. Por el contrario, una red “multi-hop”, los nodos sensores transmiten la data a través de uno más nodos intermedios haciendo que la distancia entre nodo sensor y “data-sink” se acorte; asimismo, este tipo de red permite que los nodos intermedios analicen la data reduciendo el tráfico transmitido al siguiente nodo y de esta manera optimizando el uso de la energía disponible.

- Red auto configurable y no auto configurable

Según la capacidad de configuración de los nodos sensores, las redes de sensores se clasifican en (i) no auto-configurable si no poseen la forma de organizarse, comunicarse o aunarse a una red de sensores existente y dependen de un nodo controlador para lograrlo, siendo comúnmente empleada en redes de pequeña escala; y (ii) auto-configurable, caracterizada

por organizarse y mantener la conectividad de forma autónoma y colaborativa, favoreciendo la escalabilidad de la red.

- Red homogénea y heterogénea

De acuerdo a la uniformidad de las capacidades de energía, procesamiento, computación y almacenamiento de los nodos sensores, se tiene redes homogéneas, si se mantiene la igualdad de esas características en todos los nodos sensores; mientras se tendrá redes heterogéneas si algunos de los nodos poseen mejores propiedades que otros, como mejores capacidades de conectividad o procesamiento, lo que permite mejorar el uso de energía e incrementar el tiempo de vida de los nodos. [WSN-NP]

1.1.5. Aplicaciones

Gracias a su flexibilidad, despliegue raudo, confiabilidad, auto-organización, bajo costo, e incluso resistencia a climas variables, las redes WSN poseen un amplio rango de aplicaciones tales como militar, monitorización del medio ambiente, cuidado de la salud, exploración científica, domótica, entre otras.

- Aplicaciones en el área militar

Además de las características que presenta WSN, éstas pueden ser desplegadas en un área hostil sin la necesidad de una infraestructura, aportando a combates inteligentes con menos participación directa de personas, que forma parte del futuro sistema militar C3I (*Military command, control, communication, and intelligence*).

WSN pueden ser empleadas en la monitorización del campo de batalla, detectando la presencia de fuerzas opuestas y sus vehículos, sus recorridos y movimientos permitiendo que éstos se encuentren supervisados; protección de objetos, desplegando sensores en plantas atómicas, gaseoductos, centros de comunicación o campamentos militares para su protección; guiado inteligente, ya que es posible montar sensores sobre vehículos no tripulados, tanques, submarinos, misiles o torpedos guiados hacia un objetivo o coordinar

entre ellos para obtener una estrategia más eficiente; o en la adquisición de datos remotos, para obtener información de armas químicas, biológicas o nucleares y detección de ataques terroristas. [WSN-NP]

- Cuidado de la salud

Una red Wireless Biomedical Sensor Network (WSBN) envía alertas inmediatamente al detectar una anomalía en señales fisiológicas de electrocardiogramas ECG, lo cual permite un eficiente control de los pacientes. [IEEE-HHM]

En este sector, se emplea WSN en la monitorización del comportamiento, donde los sensores se despliegan en el hogar del paciente para supervisarlos pudiendo ofrecerle o recordarle indicaciones por radio o televisión; o en la monitorización médica, integrando los sensores a una red de área corporal para obtener información de los signos vitales, parámetros ambientales, ubicación geográfica, y reportarlos constantemente en su historial médico. Además, en la monitorización remota de virus, implementando una red de sensores inalámbricos en la región infectada para conocer el estado y las características de la población infectada, así como también obtener información de medio ambiente y concluir si se contribuye con la proliferación del virus. [HBW-SN]

- Monitorización del medio ambiente

Esta área de aplicación, la cual es reciente y está emergiendo raudamente, permite supervisar condiciones medioambientales a través de variables físicas, químicas o biológicas. Enfocándose, por ejemplo, en conocer el estado de los hábitats de fauna y flora salvaje o que se encuentran peligro de extinción, siendo las redes de sensores inalámbricos versátiles y con capacidad de auto organización. Por ejemplo en la prevención de incendios forestales [IEEE- FFB]; es posible la monitorización de la calidad de agua, aire o suelo, evaluando a través de sensores para cada índole, la calidad ambiental y adoptar medidas adecuadas según las normas establecidas; monitorización

de desastres, naturales o causados por el hombre, con la finalidad de detectar oportunamente incendios, inundaciones, huaycos, erupciones volcánicas, entre otros desplegando amplias redes de sensores en la región de observación. [WSN-NP].

- Exploración científica

Dadas las características de la red de sensores inalámbricos, como el eficaz despliegue, capacidad de auto-organización y resistencia a condiciones ambientales extremas en algunos casos, es posible la exploración de regiones profundas del océano o las alejadas como del espacio exterior. [HBW-SN]

- Control de procesos industriales

Usando *WSN* se puede optimizar procesos industriales e incrementar desempeño de las maquinarias, integrando sensores a las maquinarias en los lugares difíciles de acceder para los operarios para obtener información sobre su condición y enviar alertas de prevención para el mantenimiento, por ejemplo, de algún elemento; de la misma manera para controlar las condiciones físicas o químicas a las que debe estar cierto producto para mantener la calidad de la producción. El mantenimiento debe ser periódico y no cuando realmente las maquinarias lo requieren grandes inversiones; sin embargo éstos pueden evitarse si se tiene un control sobre ellas. [WSN-NP]

- Domótica – Home Intelligence

Las redes de sensores se están aplicando cada vez más en los hogares para conseguir ambientes más cómodos e inteligentes. Aplicándolos en la monitorización de los medidores de luz, agua o gas manteniendo informado al usuario sobre sus consumos; o integrándolos a la red doméstica con la finalidad de controlar y operar dispositivos electrónicos. [WSN-NP]

1.1.6. Estándares y recomendaciones

Gracias a los principales estándares, los sensores de diferentes fabricantes pueden interoperar y ser de bajo costo, lo cual permite que el desarrollo y las aplicaciones en WSN resulten exitosos.

- IEEE

Este estándar fue elaborado por el Grupo de Trabajo 4 de IEEE 802.15, encargado de “obtener un estándar de bajo costo, consumo, complejidad y tasa de transmisión inalámbrica entre dispositivos de bajo costo”, en el que se especifica el funcionamiento de las capas Física (PHY) y MAC (Medio Access Control) de una interfaz de radio de baja potencia. Además, al nivel de la capa física, es capaz de coexistir con otros estándares IEEE como el 802.11 y el 805.15.1 (WLAN y Bluetooth); y en la capa MAC es posible la administración de la data para las capas superiores, incluyendo la sincronización, administración de los *timeslot*, asociación y separación de dispositivos de la red, así como mecanismos básicos de seguridad. Este estándar de interfaz de radio es el más difundido y empleado en WSN. [WSN-NP]

- El estándar IEEE 1451

Es una familia de estándares de interfaces de radio de transductores inteligentes independiente de las marcas existentes, que soportan sincronización, datos generales, control, configuraciones y un modelo de calibración. Así como también, se encargaron de elaborar hojas técnicas de transductores electrónicos que permiten el acceso a la información de un transductor mediante interfaces que estén conectadas a una red alámbrica o inalámbrica. [WSN-NP]

- Zigbee Alliance

La pila de protocolos Zigbee fue propuesta por Zigbee Alliance, una alianza de compañías que buscaban un estándar global abierto para el control y monitorización de un sistema inalámbrico de productos costo-efectivo y de bajo consumo. Dado que el estándar 802.15.4 se enfoca en la capa física y MAC, el estándar Zigbee se desarrolló para las capas superiores red y

aplicación. La capa de red permite funcionalidad a través de diferentes topologías, y la capa de aplicación, un conjunto de funciones organizadas para el desarrollo de aplicaciones y la comunicación. Ambos permiten la intercomunicación a una tasa baja de transmisión de dispositivos inalámbricos, alimentados por baterías, incluyendo sensores, controles remotos, tarjetas inteligentes y dispositivos de domótica.

- IETF

Working Groups 6LoWPAN, ROLL, CoRE

IPv6 Low power Wireless Personal Area Network, tiene como objetivo desarrollar soluciones que permitan la transmisión de paquetes IPv6 en la capa superior del estándar 802.15.4. Por su parte, el grupo de trabajo “Routing over Low power and Lossy networks” (ROLL), desarrollar soluciones de enrutamiento que puedan adoptarse entre otros a la red de sensores inalámbricos. Por último, el grupo de trabajo “Constrained RESTful Enviroments (CoRE), definir un Constrained-node/network Application (CoAP) para la manipulación de los recursos de un dispositivo.

- ITU

Se enfocó en recomendaciones para Redes de sensores ubicuos (USN), en la que se realizan definiciones, organización, características y aplicaciones de éstas.

- ISO and IEC

El grupo de trabajo (WG) 7 del Join Technical Committee 1 de The International Organization for Standarization (ISO) y The International Electro-technical Comission (IEC) normalizaron las soluciones generales y las aplicaciones orientadas a las redes de sensores.

- Otros estándares

Se encuentran el Bluetooth de baja energía (BT-LE) de *Bluetooth Special Interest Group*, y otras instituciones que desarrollan tecnología propietaria

como Z-Wave Alliance, Wavenis Open Estándar Alliance, INSTEON Alliance, EnOcean Alliance, entre otros.

1.2. Sistemas de monitorización

Los sistemas de monitorización son modulares, éstos se compone del middleware, *service web*, y el GUI. A continuación se muestra el diagrama de operatividad correspondiente:

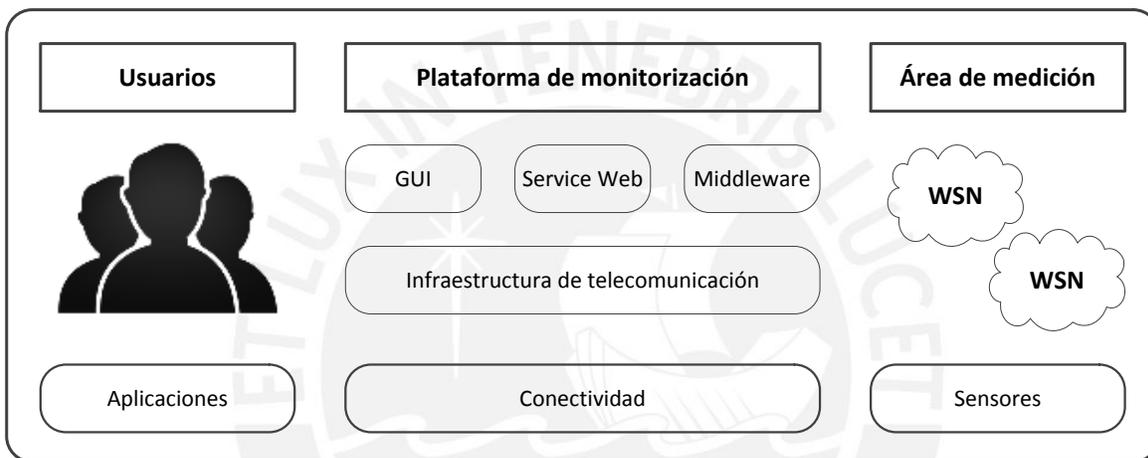


Figura 1.5 Diagrama de operatividad para la monitorización

1.2.1. Middleware de una red de sensores

La capa de middleware de sistemas de redes de sensores brinda una interfaz común entre los distintos dispositivos de adquisición de datos, sensores, tal que los usuarios sean capaces de compartir y gestionar los datos adquiridos por los distintos sensores, así como el control de estos dispositivos. Además, esta capa se encarga de almacenar los datos capturados por los sensores y proporcionar el método de acceso a los datos adquiridos utilizando un lenguaje de consulta. Al incrementar el número de sensores o usuarios de la red, esta capa aumenta su importancia. [WSN-TC]

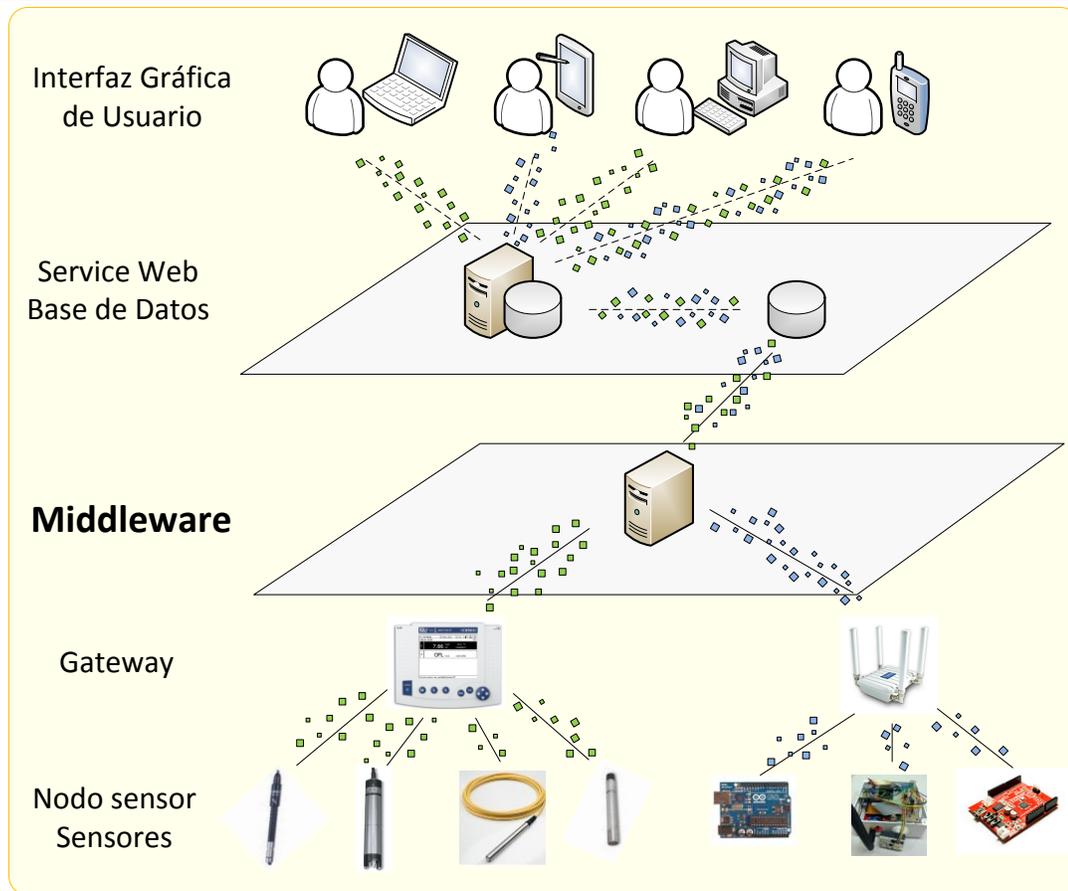


Figura 1.6 Capa de Middleware

Los requerimientos, según Matsura y Fujikawa, para el middleware de una red de sensores ubicuos son las siguientes:

- **Escalabilidad:** Debe manejar constantemente una gran cantidad de data, así como almacenar las consultas constantes realizadas por varios usuarios instantáneamente.
- **Búsqueda multi-atributos:** Necesita soportar mecanismos de búsquedas de data tanto del parámetro que se desea conocer como los atributos de éste, ofreciendo al sistema flexibilidad de búsquedas.
- **Consultas por rango geográfico:** Debe proveer mecanismos de recolección de data para usuarios según la zona deseada, mediante consultas eficientes por áreas geográficas.

- Búsqueda en tiempo real: En una red de sensores, es necesario proporcionar mecanismos para una búsqueda rápida no solo basada en una gran cantidad de información, sino también en información actualizada.
- Flexibilidad: Debe soportar que una gran diversidad de dispositivos sean compatibles, teniendo en cuenta que pueda ocurrir futuras modificaciones en la red de sensores y en los requerimientos de los usuarios

1.2.2. Servicio Web

Según el Web Services Architecture Working Group (W3C), la definición correspondiente es *"sistema de software diseñado para apoyar la interacción de máquina a máquina sobre una red interoperable. Tiene una interfaz descrita en un formato procesable por máquina (específicamente WSDL). Otros sistemas interactúan con el servicio web de una manera prescrita por su descripción utilizando mensajes SOAP, típicamente transportados usando HTTP con una serialización XML en conjunto con otras normas relacionadas con la web"*

Es decir, el servicio Web es un componente basado en software que puede ser accedido, gracias a su formato de máquina leíble, a través de una interface Web. Brinda estándares de medidas de interoperabilidad entre aplicaciones de software que funcionan bajo diferentes plataformas.

A continuación, se muestra los requerimientos de un servicio web según Choi y Rhee [DS-SWA].

- Conexión de sensores a Internet

Conocidos los recursos limitados de las redes de sensores, y la complejidad de los protocolos como HTTP, TCP, UDP, entre otros; es necesario emplear alternativas más ligeras como el 6LoWPAN y COAP, que permitan ejecutar instrucciones GET, PUT, POST y DELETE o disponer de un nodo Gateway que tenga capacidades de conexión a redes TCP/IP y, a su vez, de conexiones con las redes de sensores mediante protocolos 802.15.4, Zigbee, etc.

- Descripción semántica sobre el sensor y el dispositivo

El contexto de los datos debe ser representado y exportado en un formato de máquina leíble en la web, como RDF, XML o JSON.

- Búsqueda de los sensores y algoritmos de abstracción

La búsqueda de los dispositivos según sus características en el contexto que se desea, necesita emplear lenguajes especiales de consulta. Si se encuentra el dispositivo necesario y se obtiene datos sobre éste, es necesaria la interpretación de éstos datos para convertirlos en información, como por ejemplo, “el río no será navegable en la próximas horas” debido al análisis del caudal y condiciones atmosféricas.

- Integración de data estática y dinámica

El estado de la data recolectada estática que se encuentra almacenada en la base de datos y dinámica que se está adquiriendo debe estar integrado para generar un contexto adecuado de éstas.

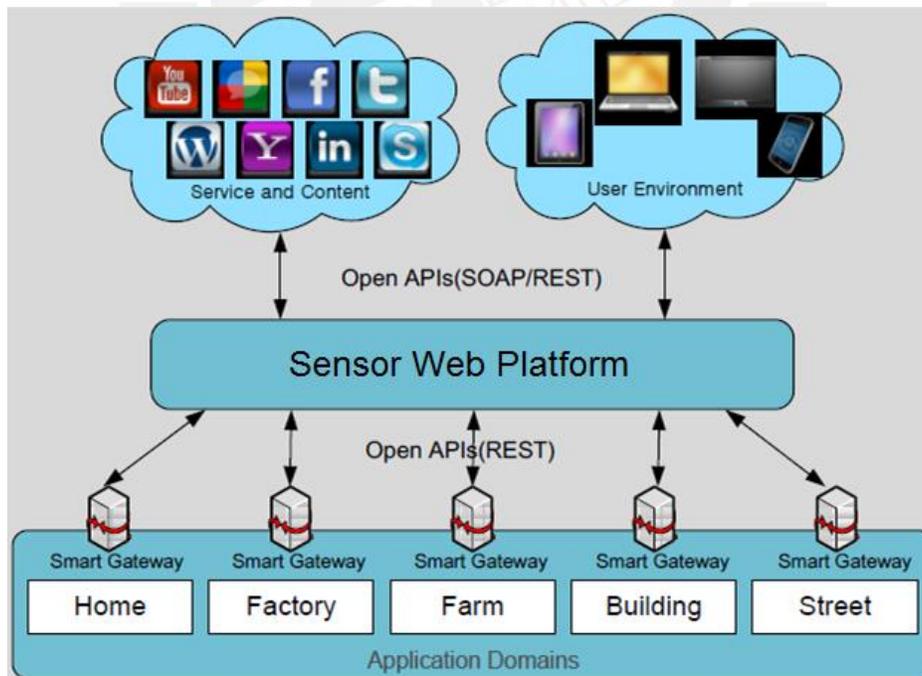


Figura 1.7 Arquitectura de una plataforma web para sensores

Fuente: Distributed sensor web architecture [DS-SWA]

1.2.3. Base de datos

Repositorio de datos diseñado para soportar su eficiente almacenamiento, recuperación y mantenimiento. [IBM-DBF]

Según la organización de la información, una base de datos puede ser (i) relacional, si se almacenan data en tablas relacionadas entre sí, (ii) jerárquica, si tiene una estructura tipo árbol, o (iii) de red si son almacenadas mediante gráficos con relaciones entre objetos.

- Modelo relacional

Representa una base de datos como una colección de relaciones entre cada columna de las tablas o atributos de éstas con las que se relacionan otros valores deseados, presentando una estructura plana que facilita la comprensión de los valores asociados a un objeto. Está compuesto por filas (o data), columnas (o atributos), tabla (o relación), y su conjunto dominio. [ELM-FDB]

- *Data Stream Management Systems*

Este sistema permite gestionar data que es generada continuamente y se almacena temporalmente en una cola, en el caso de las redes de sensores el flujo de datos es una secuencia ordenada por la fecha y hora en que se realizó la toma de los datos. Además, éste no controla el muestro o la periodicidad de la adquisición de datos.

- *Database Managment Systems*

Es un conjunto de herramientas basadas en software que permite controlar el acceso, organizar, almacenar, gestionar, recuperar y mantener una base de datos.

Se encarga de realizar consultas constantes hacia una base de datos donde se encuentra la información recolectada, luego de realizada la consulta, ésta se descarta.

Si se conoce la estructura y secuencia de la data se podrá optimizar las consultas; sin embargo, en las redes de sensores la data puede ser asíncrona y redundante.

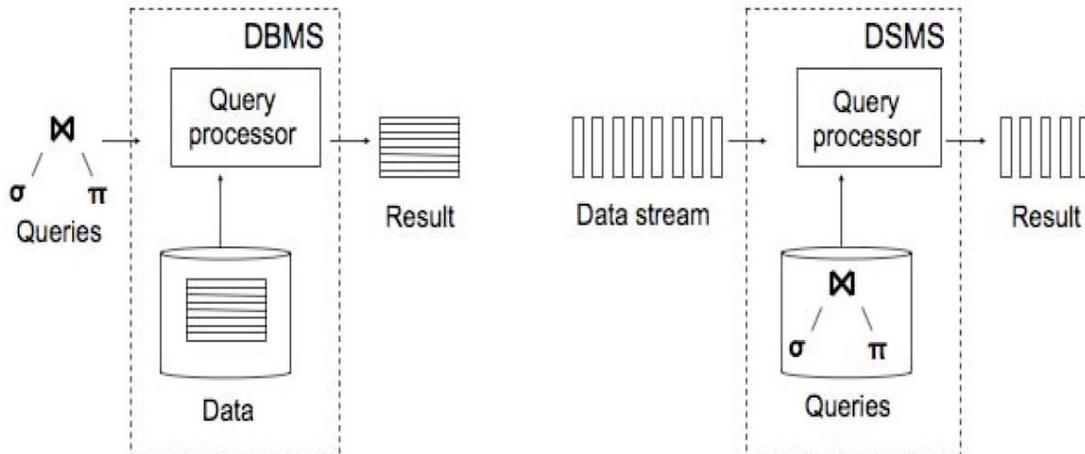


Figura 1.8 DSMS y DBMS

Fuente: [WSNT-IEA]

Clasificación de bases de datos y servidores según su arquitectura

Arquitectura de los sistemas de bases de datos

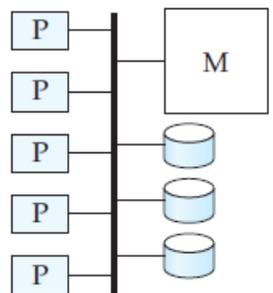
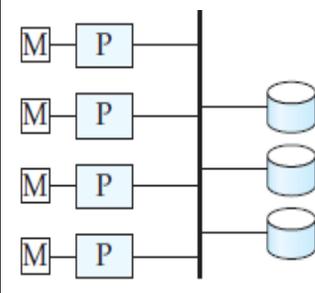
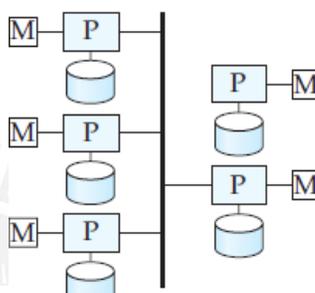
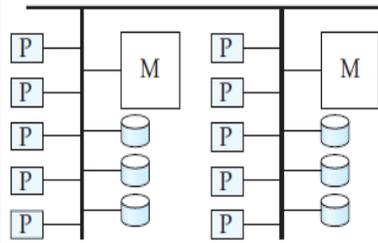
- **Sistemas centralizados**
 Compuesto de un ordenador con uno o más procesadores y dispositivos periféricos, que a través de controladores específicos, permiten el acceso a la memoria compartida. En este contexto, se dispone de sistemas monousuario, si emplea un sistema operativo que permite que solo un usuario realice modificaciones al mismo tiempo; y multiusuario, si cuenta con mayores recursos de hardware y trabaja con un sistema operativo multitarea.
 [DBS-CON]
 Los computadores utilizan procesador(es) con paralelismo de grano grueso compartiendo la misma memoria principal y permitiendo que varias tareas se ejecuten en el mismo procesador, o con paralelismo de grano fino contando con varios procesadores y realiza tareas en paralelo.
- **Sistemas cliente-servidor**
 Este sistema de base de datos emplea el anterior, asumiendo el rol de sistema servidor, para satisfacer consultas generadas por los sistemas clientes que se encuentran distribuidos. Está compuesto por un sistema

subyacente (*back-end*), que gestiona el acceso, la evaluación y optimización de consultas, recuperación y el control de ocurrencias; y otro de usuario (*front-end*) que contiene herramientas de generación de reportes, extracción y análisis de datos, interfaz de formularios o de usuario SQL. Asimismo, la comunicación entre ambos sistemas se realiza a través de interfaces bajo las normas ODBC y JDBC.

- Sistemas paralelos

Los sistemas paralelos de bases de datos realizan abundantes operaciones simultáneamente respondiendo al gran volumen de transacciones por segundo, asegurando el funcionamiento adecuado del sistema a una velocidad aceptable si se incrementa el tamaño de la base de datos o el número de transacciones. Para evaluar el rendimiento es necesario conocer la productividad, número de tareas resueltas en un intervalo de tiempo, el tiempo de respuesta y el tiempo necesario para culminar una tarea asignada. Además, la eficiencia de éste al aumentar los recursos del sistema depende de la *ganancia de velocidad*, ejecución de una tarea en menos tiempo pudiendo ser lineal o sublineal, y la *ampliabilidad*, que es la ejecución de tareas más grandes en el mismo tiempo clasificándose a su vez en lineal o sublineal. Éstos últimos se ven afectados por los costes de inicio, interferencia o sesgo, a causa del inicio de un proceso, la competencia de acceso a los recursos compartidos o la división desigual de las tareas. A continuación se muestra una comparación de las arquitecturas paralelas de bases de datos:

Tabla 1.1 Clasificación de base de datos según su arquitectura

	Memoria compartida	Disco compartido	Sin compartimiento	Jerárquico
Topología				
Ventajas	<p>Comunicación eficiente entre procesadores. Acceso a memoria sin software.</p>	<p>Acceso a memoria sin sobrecarga. Tolerancia ante fallos (procesadores y base de datos independientes)</p>	<p>Independencia de las operaciones de E/S por una única red de interconexión. Ampliable capacidad de nodos (procesadores y discos).</p>	<p>Combinación de características anteriores y acondicionamiento según requerimientos</p>
Desventajas	<p>Limitado crecimiento (32 o 64 procesadores). Manteniendo de coherencia de caché aumenta la sobrecarga</p>	<p>Ampliabilidad condicionada debido a la interconexión de discos. Comunicación pausada entre procesadores</p>	<p>Incremento de costos de comunicación y acceso a disco remotos (Intervención de software).</p>	<p>Variación de velocidades de acceso</p>

- Sistemas distribuidos

En los sistemas distribuidos, las bases de datos se encuentran en diferentes computadoras que no comparten recursos que están en diversas áreas geográficas interconectados por algún tipo de red. Su administración origina transacciones locales y globales si se accede a datos de un lugar diferentes a de donde provienen.

Tabla 1.2 Sistema distribuido de base de datos

Sistema distribuido de base de datos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Compartimiento de datos Permite el acceso a datos desde cualquier ubicación. - Autonomía Control de almacenamiento local. - Disponibilidad Continuación del servicio a pesar del fallo de algún nodo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de desarrollo de software Aumento de costo para lograr una coordinación adecuada. - Aumento de probabilidad de errores Control del funcionamiento y recuperación ante fallos. - Mayor sobrecarga de procesamiento La coordinación entre distintos nodos la incrementa en comparación con los centralizados

Arquitectura de sistemas servidores

Tabla 1.3 Arquitectura de sistema servidores

SERVIDORES		
SERVIDORES DE TRANSACCIONES	SERVIDORES DE DATOS	SERVIDORES BASADOS EN LA NUBE
Sistemas servidores de Consultas, que brindan una interfaz para realizar acciones que son enviadas por los clientes, son ejecutadas por el servidor y los resultados son devueltos.	Permite a los clientes interaccionar con los servidores realizando peticiones de lectura o modificación de datos en unidades como archivos o páginas.	Los servidores son generalmente propiedad de la empresa que presta el servicio, pero existe una tendencia creciente para optar por servidores que pertenecen a un "tercero " que no es ni el cliente ni el proveedor de servicios.

1.2.4. Casos de desarrollo

Para el análisis de las plataformas aplicadas a la monitorización y gestión de redes de sensores más destacadas, se han dividido en tres módulos generales como middleware, servicio web e interfaz de usuario. Éstas son las siguientes plataformas desarrolladas basadas en software libre:

- NanoMon (*An adaptable Sensor Network Monitoring Software*)

Se caracteriza por presentar una arquitectura flexible, que comprende la redes de sensores, el servidor de monitorización y las estaciones cliente; y soportar diversos requerimientos de una red de sensores, cuyos cambios y personalizaciones, como el cambio de base de datos, ubicación de los sensores y su topología, se pueden realizar a través una sección de configuración general en la interfaz de usuario. Para ello, cuenta con los módulos de conexión de datos, de procesamiento de paquetes,

de gestión de data, de abstracción de redes de sensores y una interfaz gráfica de usuario. La conexión hacia la redes de sensores lo realiza a través de un Gateway sensor usando protocolos TCP/IP, que son enviados al módulo de procesamiento de paquetes, donde se uniformiza el formato de las tramas para su almacenamiento y posterior envío bajo una estructura XML al módulo de interfaz de usuario, mientras que el módulo de gestión de data y abstracción de redes de sensores ofrece el acceso a la red de sensores facilitando sus actualizaciones y búsqueda múltiple; finalmente en el módulo de interfaz de usuario se muestra la topología, data recolectada según preferencias, gráficos de data, estado de los sensores. [NAN-MON]

- CinetView (Graphic Interface for Wireless Sensor Network Deployment and Monitoring)

Esta plataforma se encarga de brindar una monitorización confiable del despliegue de una red de sensores conociendo el estado de los radioenlaces, permitiendo observar gráficamente no solo los datos recolectados por los sensores, sino también el estado de la red desplegada. Utiliza herramientas como Matlab para ejecutar sus algoritmos y procesar la data, se conecta a la red de sensores mediante un cable serial RS-232 para recolectar data del estado de los enlaces con sus nodos vecinos usando RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) y para su ubicación emplean el algoritmo MDS (*Multidimensional Scaling Algorithm*). Esto permite al usuario conocer la topología y su estado en tiempo real, así como también data recolectada. [CIN-VIE]

- WSN Monitor (Monitoring and Management System for Wireless Sensor Networks)

Este sistema obtiene información de la red de sensores y data recolectado por éstos que sean de interés para el usuario. La arquitectura que presenta se divide en la base de datos, el servidor y cliente de la aplicación. La base de datos seleccionada debido a su flexibilidad es MySQL que contiene información de cada nodo, hardware, disponibilidad de los sensores y sus enlaces usando RSSI, proveedor, nodos vecinos, ambiente donde fueron desplegados con información geográfica

empleando Google Maps SDK. Para establecer una conexión con la red de sensores emplea el servidor Xserver que funciona como Gateway para la red de sensores; mientras que el servidor web utilizado es Apache Tomcat con los frameworks Spring, Spring Security, Hibernate y BlazeDS y el cliente cuenta con Adobe Flex, Adobe Air technology. En cuanto a la interfaz gráfica de usuario, ésta contiene información de la localización de los sensores, sus enlaces, gráficas de la data recolectada los cuales pueden ser exportados en formato PDF o CSV para un mayor análisis con herramientas adicionales. [WSN-MON]

- SINA (Sensor Information Networking Architecture and Applications)

Es una arquitectura para una red de información de sensores, que facilita las consultas, seguimientos, y asignación de tareas a la red de sensores. Se enfoca en las funciones de abstracción de la red de sensores empleando herramientas de configuración y comunicación que lo hace un sistema escalable que, a su vez, considera la disposición de la limitada disposición de energía de éstos. SINA consigue ello, empleando una arquitectura que comprende agrupaciones jerárquicas usando clústeres de acuerdo al área de cobertura, atributos basados en áreas mas no en cada nodo sensor, reconocimiento de ubicación disponiendo de módulos GPS y abstracción de data mediante atributos asociativos. La comunicación con los nodos sensores la realiza a través de sentencias SQLT (*Sensor Query & Talking Language*) que es una adaptación SQL con una estructura XML, empleando algoritmos de recolección de data Operación de muestro, Operación organización autónoma y Operación de computación difundida (*Sampling operation, self-orchestrated operation, and diffused computation operation*). [SINA-ARCH]

- Middleware

Tabla 1.4 Comparación de Middleware

	Módulo de Conexión				Módulo de procesamiento de paquetes	Base de datos	Redes de sensores
	Hardware	Software	Extracción de data	Ubicación			
NanoMon	Ethernet	Java	TCP/IP Gateway	No	Formato predefinido personalizable XML	MySQL	Homogenea .Nano-24(NanoQplus) ETRI-SSN(NanoQplus) .MicaZ(NanoQplus)
Cinetview	Serial RS-232	Matlab	Tablas vecinas	Sí - Algoritmo MDS	No	Arreglos en Matlab.Real time - desempeño de la red	Homogenea- MSSS (Multi source single sink)
WSN Monitor	Ethernet	Xserve	Gateway Xserve	Sí - RSS (received Signal Strength)	No	MySQL	Homogenea
SINA	Radio 802.11	SQLT	Sampling, self-orchested y diffused computation operation	Sí - GPS	No	Base de datos Centralizada- Hierarchical clustering, Attribute- Based Naming, Location wareness	Fijos y homogénos (sensor execution environment (SEE))

- Servicio web

Tabla 1.5 Comparación de Service Web

	Módulo de gestión de data			Módulo de abstracción de redes de sensores			
	Búsqueda múltiple	Formato de exportación	Formato de máquina leíble	Data integrada	Perzonalización de características	Software	Servidor
NanoMon	sí	XML	Sí	sensores, nodos y data	Sí	Java	NanoQplus
WSN Monitor	Sí	CSV	No	No	Sí	Java, Hibernate, Spring, Spring Security, BlazeDS	Apache Tomcat
SINA	Sí + movilidad	SQLT	No	Sí - de información con atributos asociativos associative spreadsheet	No	SQLT (Sensor Query and Tasking Language)	SINA

- Interfaz Gráfica de Usuario

Tabla 1.6 Comparación de GUI

	Ubicación	Data en tiempo real	Data histórica	Estado de la red			Mapa	Perfil de usuario	Reporte
				Topología	Enlaces	Nodos sensores			
NanoMon	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Precargado	No	No
CinetView	MDS	Sí	Sí	No	Uplink - Downlink RSSI	No	Precargado	No	No
WSN Monitor	Sí -RSSI (Received Signal Strength Indicator)	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Área de despliegue GoogleMaps SDK	Sí - User + password + last loggin	CSV, PDF *Requiere Adobe Flash

1.3. Sector ambiental en el Perú y el mundo

1.3.1. Estándares de mediciones de impacto y/o contaminación ambiental

Los instrumentos para la gestión ambiental en el Perú, mediante políticas ambientales y normas de regulación actividades humanas que afectan el ecosistema, son los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) que favorecen el control, seguimiento y fiscalización de los efectos de actividades humanas para garantizar la regulación y protección de la salud pública y calidad del ambiente.

Estándares de calidad ambiental (ECA) – Artículo 32

Indicadores de medición del nivel concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran en el aire, agua o suelo que se realiza en los cuerpos receptores

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido
(Decreto supremo N° 085-2003-PCM Publicada el 30 de octubre de 2003)
- Estándares Nacionales de Calidad ambiental para Radiaciones No Ionizantes
(Decreto supremo N° 010-2005-PCM Publicado el 03 de febrero de 2005)
- Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo
(Decreto supremo N° 002-2013-MINAM publicado el 25 de Marzo de 2013)

Para el propósito de este trabajo, resultan de interés analizar los siguientes estándares:

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire
(Decreto Supremo N° 074-2001-PCM publicado el 24 de Junio de 2001)

Los principios generales son la obligación de protección de la calidad de aire, de recibir información y educación oportunas y confiables de prácticas que

afectan o mejoran su calidad. Y que las medidas para mejorarla son basadas en el análisis costo-beneficio. [C05-CAM].

Su monitorización debe ser permanente, de acceso público y está a cargo de la Dirección de Salud Ambiental (DIGESA).

Las zonas de atención prioritario son Arequipa, Chiclayo, Chimbote, Cusco, Huancayo, Ilo, La Oroya, Lima-Callao, Pisco, Piura, Trujillo, Cerro de Pasco.

Tabla 1.7 Estándares nacionales de calidad ambiental del aire

Fuente: Decreto Supremo N° 074-2001-PCM

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE			
CONTAMINANTE	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR	
		VALOR (ug/m3)	FORMATO
PM - 10	Anual	50	Media Aritmética Anual
	24 horas	150	NE mas de 1 vez al año
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio Móvil
	1 hora	30000	NE mas de 1 vez al año

Los parámetros de futuro análisis de calidad de aire se encuentran en el Anexo 1

- Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua
(Decreto supremo N° 002-2008-MINAM Publicado el 31 de julio de 2008)

En éstos se establecen indicadores que no representan riesgo significativo para la salud humana ni de los ecosistemas acuáticos. La autoridad encargada de normarlos es el Ministerio del Ambiente

Tabla 1.8 Estándares nacionales de calidad ambiental del agua

Fuente: Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA		
PARAMETROS	UNIDADES	RIOS en la SELVA
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5
PH	unidad	6.5-8.5
Temperatura	Celsius	
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	0.02

Límites máximos permisibles (LMP)

Indicadores de medición del nivel de concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos que se encuentran en las emisiones, efluentes o descargas generadas por actividades productivas, si se excede afecta la salud, el bienestar y el ambiente.

- Sector Transporte y Comunicaciones
LMP de emisiones contaminantes para vehículos automotores (*Decreto supremo N° 047-2001-MTC Publicado el 30 de octubre de 2001*)
LMP de radiaciones no ionizantes en telecomunicaciones (*Decreto supremo N° 038-2008-MTC Publicado el 06 de julio de 2003*)
- Sector Producción
(*Decreto supremo N° 003-2002-MINAM Publicado el 16 de mayo de 2009*)

Para el propósito de este trabajo, resultan de interés analizar los siguientes LMP:

- Sector Vivienda, Construcción y Saneamiento
LMP de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (*Decreto supremo N° 003-2010 Publicado el 17 de marzo de 2010*)

Tabla 1.9 Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		
PARÁMETROS	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	20
pH	unidad	20
Temperatura	°C	<35

- Sector Energía y Minas

LMP de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (*Decreto supremo N° 010-2010-MINAM Publicado el 21 de agosto de 2010*)

LMP para efluentes líquidos producto de las actividades de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (*Resolución Directoral N° 008-EM/DGAA Publicado el 17 de marzo de 1997*)

LMP de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas (*Resolución Ministerial N° 31 5-96-EM/VMM Publicado el 19 de julio de 1996*)

LMP efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos (*Decreto supremo N° 037-2008-PCM Publicado el 14 de mayo de 2008*)

LMP para las emisiones gaseosas y de partículas de las actividades del sub sector Hidrocarburos (*Decreto supremo N° 014-2010-MINAM Publicado el 13 de octubre de 2010*)

Tabla 1.10 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas

Fuente: DS-0037-2008-PCM

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas			
Parámetros	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
PH	unidad	6 - 9	6 - 9

Tabla 1.11 Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas

Fuente: DS-0037-2008-PCM

Límites Máximos Permisibles de Efluentes Líquidos para el Subsector Hidrocarburos	
Parámetro regulado	Límites máximos permisibles (mg/l) (concentraciones en cualquier momento)
pH	6,0 - 9,0
Incremento de Temperatura a	<3°C

1.3.2. Situación y perspectivas

Las fuerzas motrices ubicuas causantes del cambio climático están vinculadas al crecimiento demográfico y el desarrollo económico. Éstas afectan la energía, transporte, urbanización y globalización.

La población humana para el año 2011 alcanzó los 7 mil millones de habitantes y se estima que serán 3 mil millones más según para el año 2100 (UN 2011) y el Producto Bruto Interno (PIB) se ha incrementado aproximadamente 20 veces. [GEO5-2012]

La migración, ya sea nacional (rural-urbana o rural-rural) o internacional, produce un impacto directo al ambiente a través del aumento del uso de energía, recursos naturales, y la demanda desproporcional de productos naturales incrementando el uso de tierras en zonas productivas. Esto conlleva al reemplazo de bosques por superficies agrícolas (37.4% de la superficie terrestre), mientras que las zonas urbanas representan el 0.5. Así como también acelera la disminución de la disponibilidad de agua limpia y la capacidad de suministro de agua e infraestructura sanitaria. [GEO5-2012]

Por ejemplo, de acuerdo con el Banco mundial hasta el año 2006, la escasez del agua en China se debe a la contaminación y tiene un costo equivalente al 1-3% de su PBI. [GEO5-2012]

Los países desarrollados, quienes producen la mayor cantidad de emisiones de efecto invernadero, tienden a comprar o alquilar tierras de los que se encuentran en vías de desarrollo para la elaboración de alimentos y biocombustibles causando graves efectos sobre los recursos hídricos renovables y fósiles, incluso sobre la seguridad alimentaria local (UNEP 2009a), quienes resultarán ser los principales contaminantes en las próximas décadas bajo un uso intensivo de energía y carbono, a pesar de las negociaciones para evitarlos. [GEO5-2012]

Respecto a los objetivos y metas ambientales, se han cumplido aproximadamente la mitad, logrando un ínfimo progreso y un aumento del deterioro ambiental [MEP-UN]. Esto se muestra en los siguientes aspectos:

Atmósfera

- Cambio climático

La concentración de gases de efecto invernadero está en constante aumento tal que la temperatura global ha aumentado en más de 2°C entre los años 2002 – 2009 fue el período más cálido registrado en la historia. Provocando generalmente, olas de calor y fuertes tormentas, cambios en los patrones de lluvia, aumento del nivel del mar, acidificación del agua marina, amenazas para el suministro de aguas dulces, productividad agrícola y la salud humana.

- 2% o 11,3% del PIB mundial si la temperatura aumenta 2,5°C o 7,4°C respectivamente
- El uso eficiente de energías renovables reduce los efectos del cambio climático y mejora a salud
- Insuficiente monitorización y generación de reportes de los compromisos existentes.
- Reducido apoyo financiero y económico a los países en desarrollo
- Contaminación del aire en exteriores

La contaminación atmosférica continúa impactando en el medio ambiente y la salud humana. El dióxido de azufre produce efectos graves para la salud y es el principal causante de las lluvias ácidas. Las emisiones se han reducido en América del Norte y Europa pero han aumentado en los países en desarrollo de Asia en su mayoría. El nitrógeno se ha mantenido constante con algunas variaciones regionales, impacta en la salud y en los ecosistemas acuáticos. Las partículas en el aire (*Particulate matter-PM*) ya sean pequeñas de polvo o de *smog* (sustancia crasa y negra que el humo deposita en la superficie de los cuerpos- [RAE]) son la principal causa de daños a la salud debido a contaminación atmosférica, como enfermedades al pulmón y el corazón.

- 1,2 millones de muertes al año
- US\$ 14 ~ 26 billones de pérdidas en el rendimiento agrícola debido al ozono troposférico
- Insuficiente avance en el tratamiento de PM y ozono troposférico
- Contaminación del aire en interiores

La contaminación del aire en ambientes internos debido a PM, influye negativamente en la salud de mujeres y niños particularmente, es mucho mayor el impacto que la contaminación debido PM en ambientes exteriores [OMS]. Siendo una cuestión de alta prioridad donde están comprometidos la privacidad y otros factores para monitorizar el área.

- 2 millones de muertes, en su mayoría niños menores de 5 años y en localidades rurales

Biodiversidad

- Disponibilidad de peces

La pesca es una fuente importante de alimentación, empleo e ingresos. Debido a ello, hay una sobreexplotación de las poblaciones de peces. Ocasionando grandes pérdidas porque se esperaba capturas mayores entre 7 y 36% sin contar con el agotamiento de las poblaciones de los peces, ello hubiera podido prevenir la desnutrición miles de personas. La escasa información respecto a la pesca en agua dulce indica que ésta es excesiva; sin embargo, los datos son insuficientes. En el 2007, los productos pesqueros certificados por Marine Stewardship Council (MSC) constituían únicamente el 7% de la pesca a nivel mundial.

- 90 millones de toneladas de pesca, US\$ 100 mil millones, cuadruplicó la explotación en el 2008 respecto al período 1950-1990
- Pérdidas de US\$ 6.4 ~ 36 mil millones debido a la sobreexplotación, afectando la desnutrición de 20 millones de personas
- 7% de productos pesqueros certificados a nivel mundial en el 2007

Suelo

- Deforestación

La deforestación y la degradación de los bosques producen una pérdida anual mayor que las pérdidas debido a la crisis económica. Siendo las políticas para evitar la deforestación importante para la regulación de éstas zonas y toma de decisiones, para ello es necesario disponer de información de reservas de carbonos que está estimada en 1,150 giga toneladas distribuido con el 30~40% en biomasa y 70~60% en los suelos.

- Pérdidas de US\$ 2 ~ 4.5 trillones anuales por la deforestación y degradación de bosques

- 130 millones de hectáreas de bosques perdidas entre 2000-2010
- Servicios del ecosistema

Si bien los ecosistemas tienen dimensiones económicas, espirituales, estéticas y culturales de gran valor, en los últimos 25 años, el 60% de los bienes y servicios de ecosistemas a nivel mundial han sido degradados o utilizados de forma insostenible. Afectando con mayor intensidad a los más pobres, quienes dependen de los ecosistemas locales y se encuentran en zonas vulnerables al cambio, por ello es crucial la valoración económica de los servicios ambientales para que sean tomados en cuenta.
- 60% de bienes y servicios de ecosistemas degradados o utilizados insosteniblemente en los últimos 25 años
- US\$ 1,5 mil millones anuales son producidos debido a los bienes y servicios en los bosques de Mau, Kenia.

Agua

- Agua potable

La gran mayoría que carecen de acceso a agua potable corresponde a las zonas rurales de África y Pacífico. Sin embargo, ya se ha cumplido la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio [ODM] para el 2015, enfocándose en el uso de tecnología e infraestructura para mejorar la calidad y la disponibilidad del agua.
- Más de 600 millones de persona sin acceso a agua potable
- 13% de la población mundial con acceso en 2008 y se proyecta 9% para el 2015
- Saneamiento

Se eluden comunidades pobres de África, Asia meridional y el Pacífico en los planes de expansión sanitaria. Esto influye directamente en la muerte de

millones de personas; por lo tanto, es necesario incluir sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento.

- Más de 2.5 millones de personas no cuentan con acceso a servicios básicos de saneamiento
- 3,5 millones de muertes, principalmente población infantil
- Agua dulce (campos de hielo, glaciares, pantanos, lagunas, lagos, ríos, arroyos y aguas subterráneas)

La contaminación del agua dulce está aumentando y no se están cumpliendo los estándares de la OMS; además, la monitorización de ésta está disminuyendo en varias regiones siendo complicada su evaluación debido a la falta de información. Por otra parte, no existen normas rigurosas a escala mundial de calidad de agua basadas en datos a largo plazo y la brecha existente de las concentraciones de contaminantes de importancia emergente. La adopción de medidas para reducir contaminantes del agua resulta beneficiosa en cuanto a la salud por más de US\$ 100 millones en las grandes economías de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

- Decaimiento de la monitorización afectando la evaluación por falta de información (datos + procesamiento)
- Más de US\$ 100 millones en beneficio para la salud si se adoptan medidas para la reducción de contaminantes de agua

1.3.3. Normatividad y regulación

A nivel mundial, a cerca de las políticas y programas ambientales es de utilidad conocer destacar lo siguiente:

- Políticas ambientales

A pesar de que se ha conseguido la negociación de diversos convenios y protocolos, es insuficiente la aplicación de éstos. Para ello, es necesario abordarlos de forma integral, mediante la armonización de los acuerdos y el apoyo a los países en desarrollo con los múltiples requisitos de informes. Ya que todas los efectos de las actividades humanas están relacionadas con la contaminación atmosférica, el cambio climático, los recursos hídricos, la desertificación y la pérdida de biodiversidad.

- Desarrollo sostenible de las políticas y programas en los países

Las inversiones financieras y sus evaluaciones sistemáticas que se vienen realizando son insuficientes para enfrentar los desafíos del cambio climático y el daño ambiental. Por ejemplo, OCDE asignó US\$ 4.3 billones para el apoyo a la biodiversidad y US\$ 1.9 mil millones para la prevención de desertificación en el año 2009. Sin embargo, la información del apoyo externo usualmente no está disponible. Por tanto, es fundamental la elaboración de indicadores medibles de objetivos y metas, permitiendo la recopilación y coordinación de datos de los distintos países se comparen a fin de mejorar el conocimiento de los temas en cuestión y, a su vez, se promocióne normas internacionales.

La limitada capacidad para la aplicación y el cumplimiento de los acuerdos institucionales ha conducido hacia una gestión pública ambiental deficiente. Con adecuados recursos financieros, investigación científica y difusión de la información, educación y cultura ambiental, gestión transparente, participación e integración es posible la adaptación y reversión de la degradación ambiental, alcanzando así las metas de los ODM y de otros acuerdos multilaterales.

En el Perú, entre los principales lineamientos políticos respecto al medio ambiente, se encuentran los siguientes:

- Ley General del Ambiente (Ley N° 286611) Publicada el 15 de octubre del 2005

Principalmente, indica mecanismos para la promoción, valorización, aprovechamiento sostenible, protección y la supervisión de recursos naturales como las aguas continentales, el suelo, los recursos forestales y la fauna, la biodiversidad y los distintos ecosistemas (Art 90, 91,92 y 94)

- Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental SEIA – Ley N°27446 Publicada el 23 de Abril de 2001

Tiene como objetivo la identificación, supervisión, control y corrección de forma uniformizada mediante un sistema único y coordinado, de efectos negativos sobre el medio ambiente debido a las actividades humanas y que la población participe activamente. Para obtener la certificación ambiental establecida en esta Ley y para los organismos del Sistema Nacional de Gestión ambiental es necesario el cumplimiento de los ECA y LMP (Art-31-32, 35)

- Sistema Nacional de Información Ambiental – SINIA

Encargado del acceso y distribución de información ambiental para la toma de decisiones de gestión ambiental, bajo la integración tecnológica, institucional y técnica. Por tanto, todos los informes producto de actividades científicas, técnicas o de monitorización de calidad ambiental y que se ejecuten en el marco de funciones ambientales es necesario su incorporación al SINIA para que se de fácil acceso. [SINIA]

Política nacional del ambiente

Según el Decreto supremo N° 012-2009, la política ambiental en nuestro país se distribuye, resaltando entre las más importantes, en lo siguiente:

a. Conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica

A través de la implementación de mecanismos de evaluación, valoración y financiamiento para la conservación ambiental, se busca y una gestión integrada y sostenible de la diversidad biológica, recursos renovables y no renovables. Esto permitirá a la población adaptarse al cambio climático empleando medidas de

mitigación que conlleven al desarrollo sostenible garantizando la protección de la salud, el ambiente y la diversidad biológica.

Tabla 1.12 Lineamientos políticos para la conservación y aprovechamiento sostenible

Fuente: Decreto supremo N° 012-2009

	Lineamientos de política
Diversidad biológica	Promover estrategias para la gestión integral y sostenible de la diversidad de ecosistemas, y para la evaluación de actividades extractivas, productivas y de servicios sobre la diversidad biológica con el propósito de garantizar su conservación.
Bioseguridad	Impulsar el desarrollo de un sistema de regulación de uso seguro, responsable y competitivo de la biotecnología moderna. Asimismo, que sea compatible con niveles de seguridad dentro de marcos legales nacionales e internacionales de bioseguridad.
Aprovechamiento de los recursos naturales	Incitar la valoración económica de los recursos naturales, la diversidad biológica y sus servicios ambientales, así como la investigación aplicada, el uso de tecnologías limpias y la adopción de códigos de conducta e iniciativas de responsabilidad social para la prevención y recuperación del ambiente.
Minería y energía	Promover normas de conductas adecuadas y transparentes, fomentar el uso de tecnologías limpias y modernas con el fin de mejorar los estándares ambientales y sociales de las actividades minero-energéticas.
Bosques	Impulsar la gestión sostenible e integrada, e implementar mecanismos de seguimiento y control de los derechos forestales, con el objetivo de promover

	la reforestación y evitar la explotación de los bosques y sus recursos.
Cuencas, aguas y suelos	Incentivar la formulación de estándares, la gestión integral y sostenible, la monitorización, y acciones de prevención de degradación de los recursos hídricos, suelos y tierras.
Mitigación y adaptación al cambio climático	Promover el empleo de tecnologías adecuadas como sistemas de monitorización, alerta temprana, respuesta oportuna, y la aplicación de medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático adecuadas para cada región.
Desarrollo sostenible de la Amazonía	Incitar el aprovechamiento, gestión eficiente, integrada y sostenible de las cuencas hidrográficas y bosques amazónicos mediante la investigación y el uso de tecnologías limpias para proteger y recuperar las zonas degradadas.

b. Gestión Integral de la calidad ambiental

Con el objetivo de garantizar una adecuada calidad ambiental, un control eficaz de los riesgos ambientales, y evitar la degradación ambiental se propone desarrollar mecanismos técnicos, normativos, económicos y financieros que logren una gestión sostenible, mediante la vigilancia, supervisión, evaluación y fiscalización ambiental, de actividades productivas, extractivas, de transformación, comerciales y de servicios.

Tabla 1.13 Lineamientos políticos para la gestión integral de la calidad ambiental

Fuente: Decreto supremo N° 012-2009

	Lineamientos de políticas
Control integrado de la contaminación	Desarrollar mecanismos para el control y mantenimiento de la calidad de agua, aire y suelo

	bajo mejora continua, y que se adapte al sistema nacional de evaluación de impacto ambiental.
Calidad de agua	Promover la inversión en investigación e infraestructura que permita identificar, vigilar y controlar fuentes emisoras de efluentes contaminantes.
Calidad de aire	Impulsar mecanismos técnicos y normativos para la vigilancia y control de contaminación sonora y de radiaciones no ionizantes estableciendo sistemas de alertas que permitan prevenirlas y mitigarlas.
Sustancias químicas y materiales peligrosos	Establecer mecanismos de autorización, vigilancia y control del ciclo de vida de éstas bajo un sistema con información actualizada y gestionar los riesgos para la salud y ambiente.

c. Gobernanza ambiental

Bajo la rectoría del MINAM, los gobiernos locales, regionales y el estado deben promover la inclusión de la población en aspectos ambientales, su sostenibilidad, ética y justicia.

Tabla 1.14 Lineamientos políticos para la gobernanza ambiental

Fuente: Decreto supremo N° 012-2009

	Lineamientos de políticas
Institucionalidad	Promover y mejorar la gestión ambiental y acuerdos de cooperación público-privada, así como incentivar la investigación e innovación tecnológica para un desarrollo sostenible mediante los gobiernos.
Cultura, educación y ciudadanía ambiental	Impulsar la responsabilidad socio-ambiental, participación, eco-eficiencia y valores que permitan valorar y gestionar el patrimonio natural.
Inclusión social en la gestión ambiental	Incentivar la participación de la población en la gestión ambiental, tal que les permita adoptar

	mecanismos de evaluación y valoración del estado e importancia de la biodiversidad.
--	---

d. Compromisos y oportunidades ambientales internacionales

Mejorar la gestión ambiental, la competitividad, la protección de los recursos naturales, y la calidad de vida de la población, participando de acuerdos multilaterales y bilaterales que reflejen los intereses nacionales y verificando que se cumplan.

Tabla 1.15 Lineamientos políticos de compromisos y oportunidades ambientales internacionales

Fuente: Decreto supremo N° 012-2009

	Lineamientos de políticas
Compromisos internacionales	Fomentar la transferencia tecnológica y de recursos financieros y la asistencia técnica para lograr el cumplimiento de los compromisos locales e internacionales en el sector ambiental.
Ambiente, comercio y competitividad	Promover el desarrollo del biocomercio ecoeficiente, que respalden la calidad ambiental y la responsabilidad social, aumentando así la competitividad ambiental.

2. Capítulo 2: Identificación y diagnóstico de la problemática

2.1. Diagnóstico de la situación actual

2.1.1. Problemática

A nivel global se reconocen serios, peligrosos e irreversibles daños al medio ambiente: La Organización Mundial de la Salud afirma que la contaminación atmosférica del planeta es responsable de 1,3 millones de muertes anuales, así como la falta de agua potable o la ausencia de letrinas, de 3 millones más.

Tabla 2.1 Problema – efecto contaminación ambiental

Problema	Efecto
Contaminación atmosférica	1,3 millones muertes/año
Ausencia de agua potable y/o letrinas	3 millones muertes/año

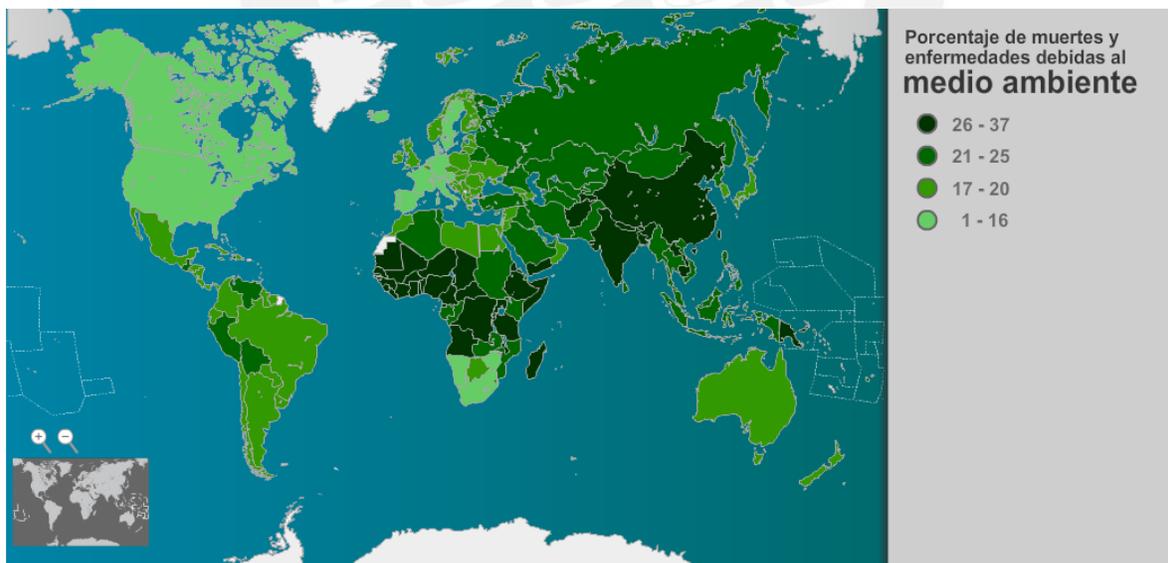


Figura 2.1 Contaminación del medio ambiente y número de muertes por regiones

Fuente: [ES-MUN]

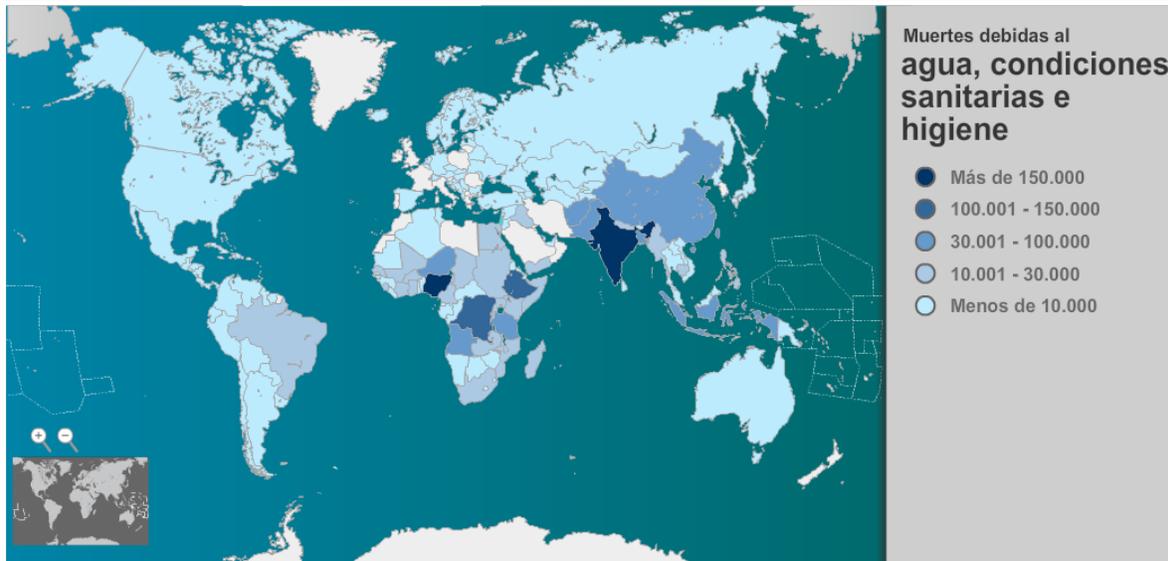


Figura 2.2 Contaminación del agua y número de muertes por regiones

Fuente: [ES-MUN]

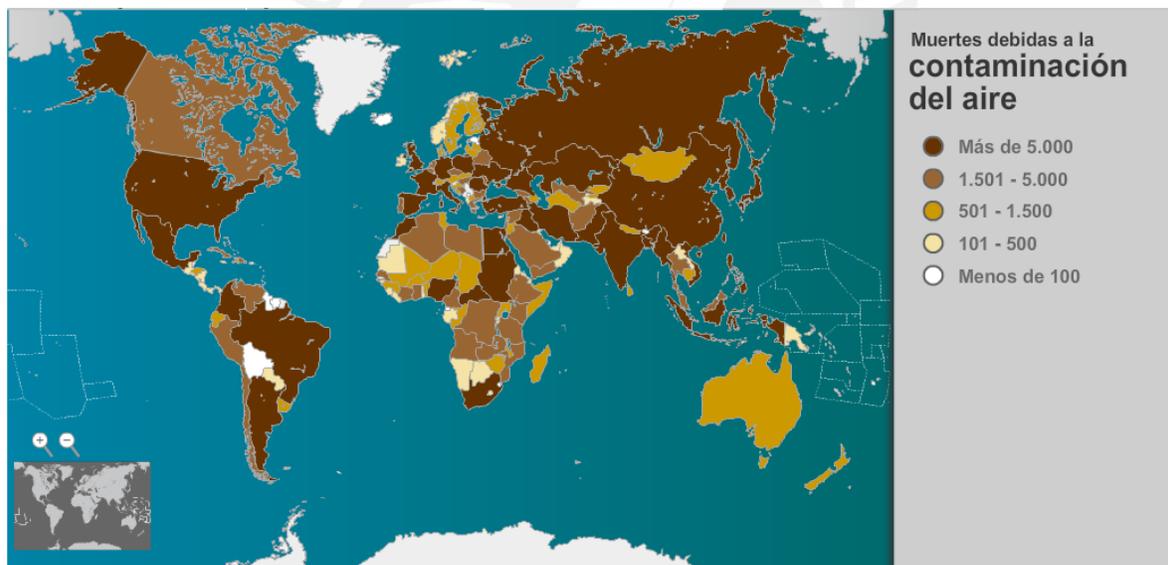


Figura 2.3 Contaminación del aire y número de muertes por regiones

Fuente: [ES-MUN]

Las cuencas de los ríos del Perú no son ajenas a esta problemática. En el caso particular de la cuenca del río Napo, que nace al pie del volcán Cotopaxi, Ecuador y desemboca en el río Amazonas en el poblado Francisco de Orellana (el cual recorre las provincias de Napo, Orellana, Sucumbíos en Ecuador y Maynas en

Perú), ubicada en la provincia de Maynas, departamento de Loreto, es sabido que desde hace décadas se encuentra afectada por materiales químicos dañinos y desechos de origen mineral y que; además, no se han calculado periódicamente y con precisión; por tanto, no se ha cuantificado el daño que han provocado en la salud de los pobladores aledaños, en la calidad del agua del río y en general, en la armonía del ecosistema ambiental.

Esta problemática se origina en el mal uso que le dan los pueblos aledaños, empresas petroleras formales e informales, las empresas dedicadas a la tala y a la extracción mineral, cada año se pierden en el Perú 150 mil ha de bosques amazónicos. Las actividades extractivas provocan graves efectos a través de sustancias que son producidas y desechadas.

Tabla 2.2 Problema – efecto tala

Problema	Efecto
Tala y extracción mineral (formal e informal)	150 mil ha de bosque depredadas

En la región de Maynas, según la DIRESA, los problemas directamente relacionados con la contaminación son el aumento en la frecuencia de enfermedades como Malaria, Dengue Clásico, Leptospirosis, Ofidismo, Hepatitis, entre otras; por otra parte, aquellos indirectamente identificados son bajos niveles educativos, estilos de vida no saludables, deficiente saneamiento básico, entre otros.

La normativa de protección medioambiental es vasta y compleja, sin embargo, su aplicación es evidentemente insuficiente. La regulación respecto al tema se puede dividir en: (i) leyes de prevención y (ii) normas de regulación y monitorización. En estas últimas es esencial el uso de sistemas de monitorización medioambiental que permitan registrar las consecuencias de actividad humana en la zona a través de variables como calidad del agua, aire, suelo, etc. Estos sistemas imprescindibles en el cuidado ambiental han de ser adecuados en cuanto a la localización y precisos

en el tiempo en el que son desplegados. La supervisión actual de en la cuenca del río Napo carece de periodicidad y continuidad.

Constituyendo un problema transversal que va más allá de no solo en sector ambiental, sino que también afecta significativamente a la salud, educación, economía, política, cultura y sociedad.

2.1.2. Identificación de involucrados

Los actores implicados en la descripción del diagnóstico presentado son:

- El gobierno central o Estado peruano, el cual plantea una serie de derechos y deberes. Representado por sus ministerios Presentar proyectos de ley, judicial, con sus poderes.
- Ministerio del Ambiente, ente rector del sector ambiental nacional que mediante políticas de prevención, supervisión y regulación vela por el crecimiento económico sostenible con equidad social, la conservación de los recursos naturales y el cuidado del ambiente (MINAM).
- Gobiernos locales, entendiéndose el gobierno regional de Loreto, las municipalidades provinciales de Loreto, Maynas, Alto Amazonas, Requena, Mariscal Ramón Castilla y Ucayali, y las municipalidades distritales involucradas.
- Empresas de actividades como tala, extracción mineral y petrolera establecidas en la zona de la cuenca del río, las cuales son las principales causantes del estado ambiental actual y de la contaminación atmosférica debido su desinterés en proteger la zona, la ausencia de regulación, entre otras.
- Organizaciones No Gubernamentales (ONG), interesadas en el cuidado y la conservación del ambiente a través de financiación de distintos proyectos.
- Pobladores aledaños, quienes son afectados directamente por el impacto causado por empresas y por su cierto comportamiento erróneo que afectan su salud y su hábitat, además de contribuir con el cambio climático.

Tabla 2.3 Identificación de involucrados

GRUPOS INVOLUCRADOS	PROBLEMAS PERCIBIDOS	INTERESES
Gobierno central	Débil ejecución de leyes y normas creadas relacionadas al medio ambiente, e inadecuado sistema de salud en la Amazonía	Promover la adopción de sistemas de gestión ambiental por parte de las empresas [Art-74]
Ministerio del ambiente	Escasos niveles de difusión y aplicación de gestión ambiental	Prevenir, supervisar y regular actividades que contribuyen al cambio climático
Gobiernos locales	Escasa preocupación por el cuidado de los recursos naturales de la zona y complicado acceso para la supervisión	Promover la gestión ambiental mediante la participación, capacitación e integración de la población [Art-70]
Empresas vinculadas a la zona	Limitados sistemas para el control de emisiones, efluentes, descargas que originan impactos negativos en la salud, ambiente y recursos naturales	Generar ingresos económicos a través de actividades desarrolladas en la zona en los límites de la normatividad
Organizaciones No Gubernamentales	Insuficiente difusión de recomendaciones integrales, proyectos e investigación para la preservación ambiental.	Aportar con campañas formativas, proyectos e investigaciones para la mitigación y cuidado ambiental
Pobladores aledaños	Bajo nivel de educación ambiental y la incorporación a sus actividades diarias. Condiciones ambientales, sociales y económicas no favorables	Capacitar y disponer condiciones adecuadas para alcanzar un desarrollo sostenible económico, social y ambiental

2.2. Definición del problema, sus causas y efectos

2.2.1. Causas

- Escasa inversión en investigación y desarrollo
- Difícil acceso para la supervisión
- Reducida aplicación de leyes de regulación
- Insuficientes sistemas de monitorización ambiental
- Baja innovación y desarrollo soluciones tecnológicas
- Reducido despliegue de infraestructura de telecomunicaciones -
viales
- Escasa vías de acceso
- Inseguro sistema de transporte

2.2.2. Problema central

Insuficiente y eludible regulación medioambiental

2.2.3. Efectos

- Elevada explotación de recursos naturales
- Baja difusión y campañas de prevención
- Devaluado interés de desarrollo
- Creciente índice de morbilidad y mortalidad
- Disminución de recursos naturales disponibles
- Bajo nivel de concientización y educación de la población
- Reducida economía
-

2.2.4. Efecto Final

Desmedida explotación, grave e irreversible contaminación ambiental y perjuicio al ecosistema de la zona

2.2.5. Árbol de problemas

El árbol de problemas se muestra en la figura 2.4.

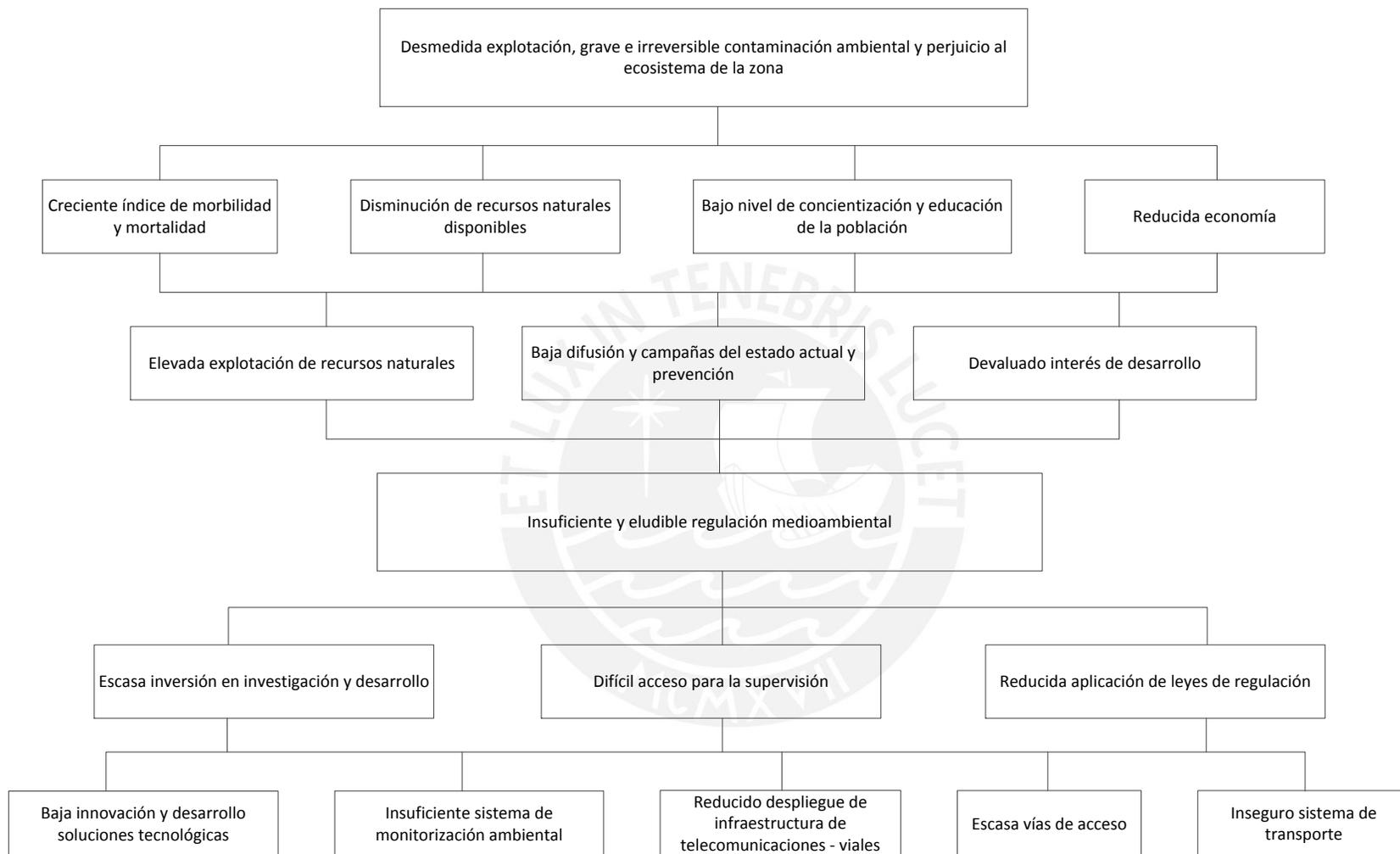


Figura 2.4 Árbol de problemas

2.2. Definición del objetivo, sus medios y fines

2.2.1. Medios

- Directos
 - Eficiente inversión en investigación y desarrollo
 - Factible acceso para la supervisión
 - Adecuada aplicación de leyes de regulación
- Indirectos
 - Aumento de sistemas de monitorización ambiental
 - Alta innovación y desarrollo soluciones tecnológicas
 - Mayor despliegue de infraestructura de telecomunicaciones - viales
 - Disponibilidad de vías de acceso
 - Mejorado sistema de transporte

2.2.2. Objetivo central

Eficiente y controlable regulación medioambiental

2.2.3. Fines

- Directos
 - Adecuada explotación de recursos naturales
 - Alta difusión y campañas del estado actual y de prevención
 - Elevado interés de desarrollo
- Indirectos
 - Menor y/o estable índice de morbilidad y mortalidad
 - Disponibilidad de recursos naturales disponibles
 - Apropiado nivel de concientización y educación de la población
 - Mejorada economía

2.2.4. Efecto Final

Adecuada explotación, sostenible y reversible contaminación ambiental y preservación del ecosistema de la zona

2.2.5. Árbol de objetivos

El árbol de objetivos se observa en la figura 2.5

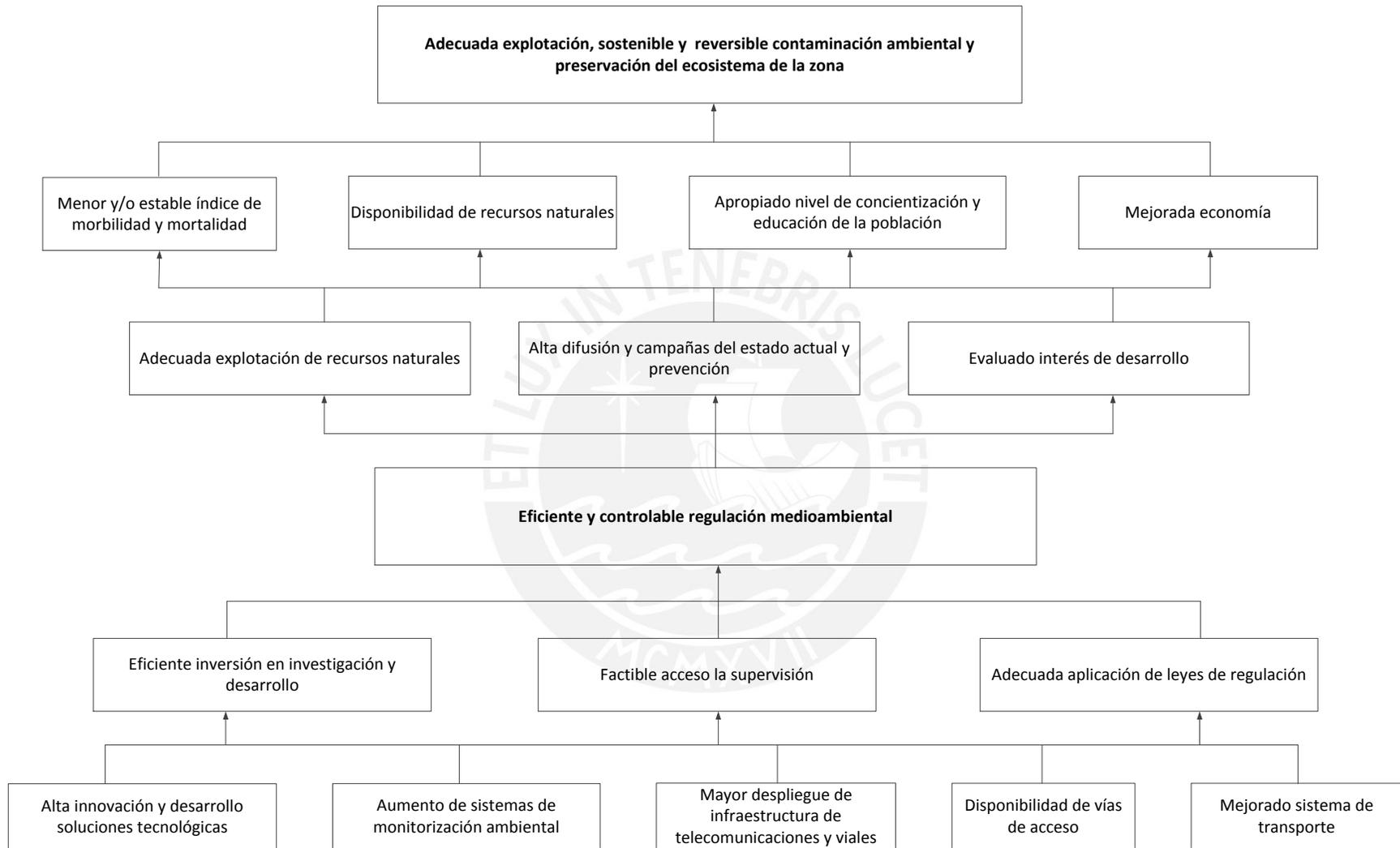


Figura 2.5 Árbol de objetivos

2.2.5. Árbol de objetivos modificado

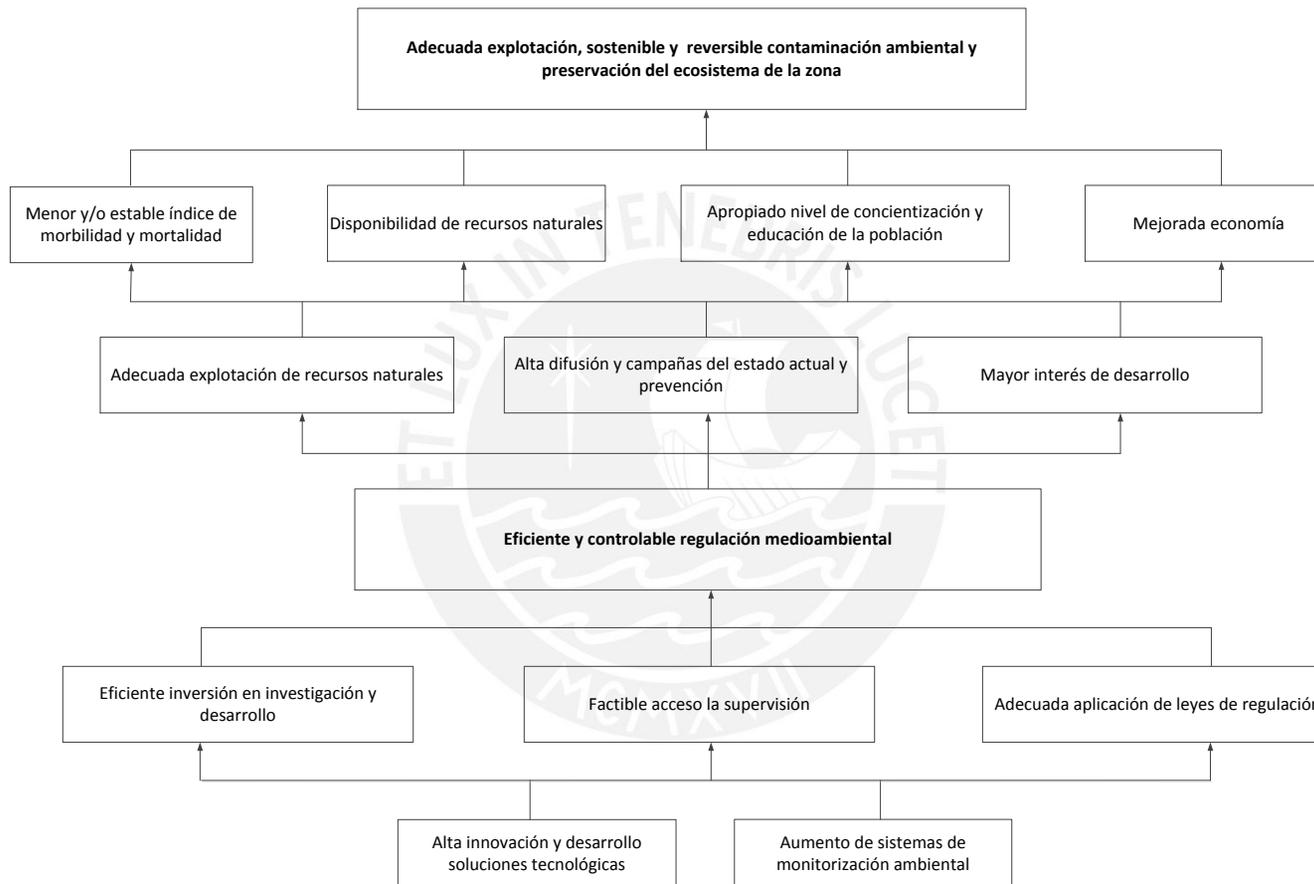


Figura 2.6 Árbol de objetivos modificado

2.2.6. Relación entre los medio fundamentales

Los medios fundamentales identificados en el análisis de objetivos mantienen entre ellos una relación de complementariedad:

- Alta innovación y desarrollo de soluciones tecnológicas
- Aumento de sistemas de monitorización ambiental

Como síntesis de la problemática y de la matriz de involucrados, debido a que se necesita obtener una alternativa que sea de fácil acceso a la supervisión para una adecuada aplicación de las normas y leyes respecto al medio ambiente, se requiere la innovación y desarrollo de un sistema integral que permita mejorar, cuantificar, y controlar el estado del ambiente a través de su monitorización.

2.3. Alternativa de solución

2.3.1. Hipótesis

Una solución basada en software libre y de bajo costo, eficiente y de fácil acceso a los diferentes actores permitirá conocer la situación actual medioambiental de la provincia de Maynas, a través de la difusión de sus variables de calidad cuantificadas y de cara a incrementar la educación y cultura ambientales.

2.3.2. Objetivos

General

Desarrollar un sistema de información para las redes de sensores de calidad de agua y de aire (GTR-PUCP).

Mostrar el comportamiento periódico de la data recolectada por los sensores en una base de datos a través de una interfaz Web.

Específicos

- Enviar alertas ante fallas en los nodos sensores
- Interfaz gráfica de usuario accesible desde dispositivos móviles.
- Monitorizar ph, turbidez, oxígeno disuelto y nivel para la calidad de agua y CO, SO₂, NO₂ y PM-10 en cuanto a calidad de aire

2.3.3. Modelo y antecedentes

- Infraestructura

Un proyecto como el descrito tiene que ser soportado por una infraestructura de red inalámbrica Wi-Fi de larga distancia de Telemedicina, implementado por el GTR-PUCP y la Fundación EHAS, que cubre la cuenca del río Napo en la provincia de Maynas, departamento de Loreto. Esta red interconecta 13 poblados rurales con el Hospital Regional de Loreto, la DIRESA Loreto y el albergue del Vicariato Apostólico de San José del Amazonas en la ciudad de Iquitos. A lo largo de esta infraestructura desplegada, se podrá acondicionar la red de sensores en puntos de interés para la monitorización de la calidad de agua y aire. Por ello, se plantea la elaboración de una plataforma que permita conocer su estado.

Tabla 2.4 Infraestructura GTR – PUCP

Red WiFi GTR-PUCP		
Torres	Localización	Observación
1	Iquitos - PetroPerú	Redes de sensores de calidad de aire
2	Mazán	
3	Huamán Urco	
4	Tuta Pishco	
5	Negro Urco	
6	Tacsha Curaray	
7	Santa Clotilde	Redes de sensores de calidad de agua
8	Copal Urco	
9	San Rafael	
10	Rumi Tuni	
11	Campo Serio	
12	Angoteros	
13	Túpac Amaru	
14	Tempestad	
15	Torres Causana	
16	Cabo Pantoja	

- Red de sensores de calidad de aire

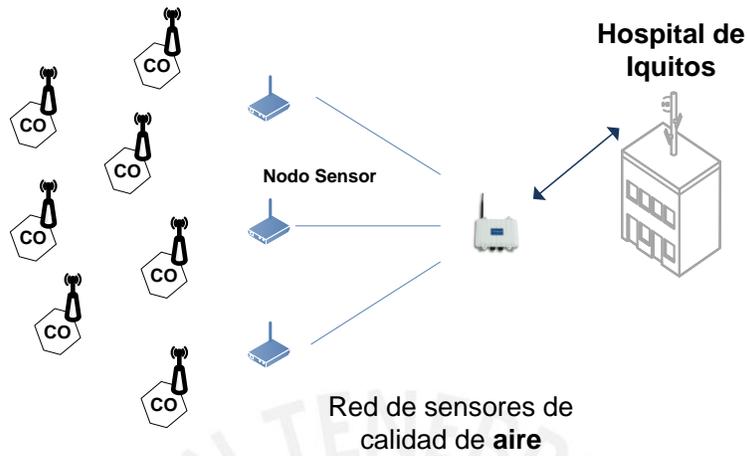


Figura 2.7 Red de sensores de calidad de aire

- Red de sensores de calidad de agua

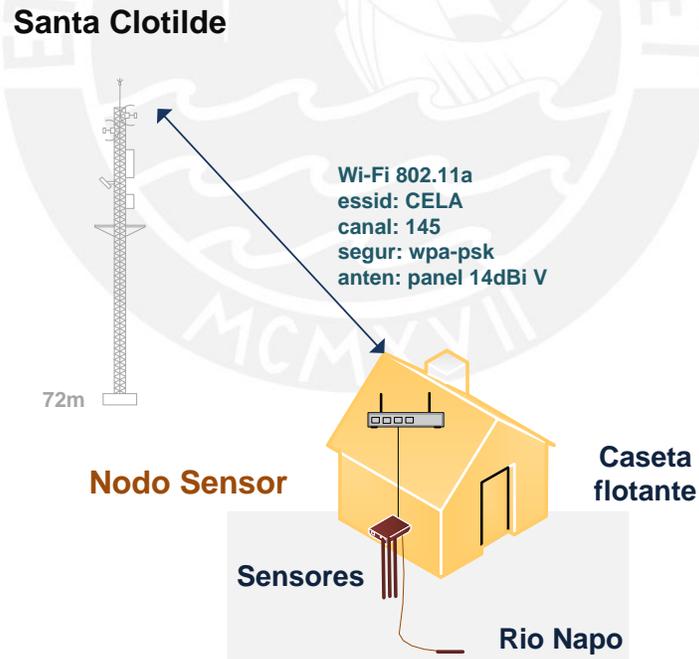


Figura 2.8 Red de sensores de calidad de agua

2.3.4. Escenario

El escenario sobre el cuál se realizará la implementación es el que se muestra a continuación:

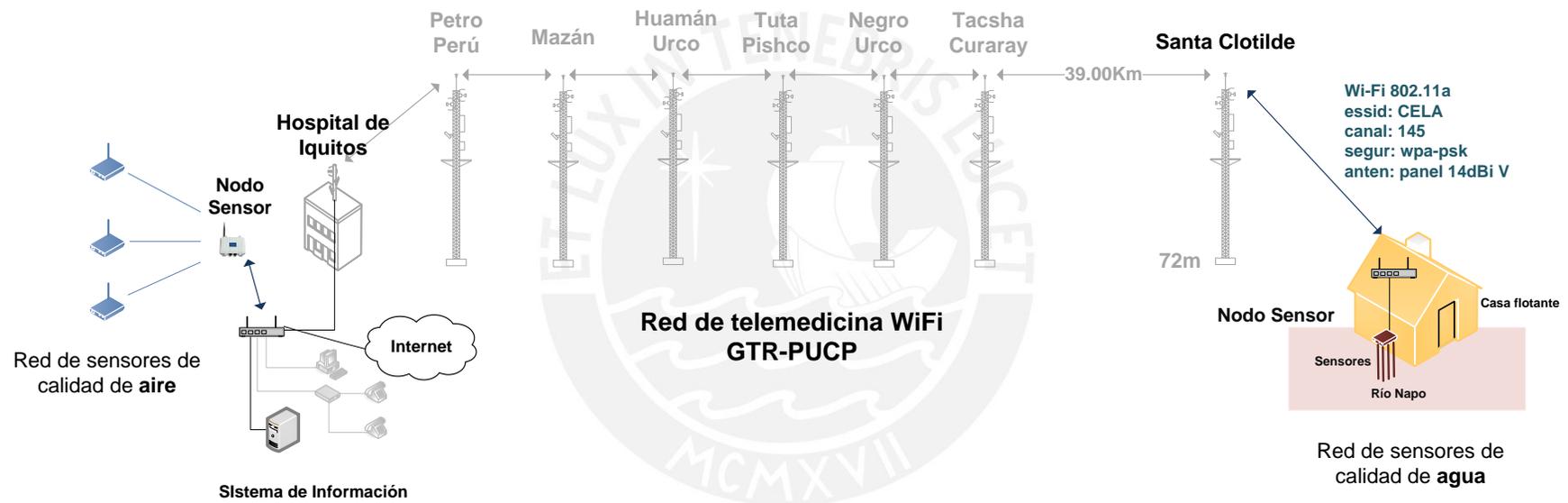


Figura 2.9 Escenario

Requerimientos

Éstos fueron dados en el marco del proyecto CELA-2013, que fue implementado por el Grupo de Telecomunicaciones Rurales, la solución a implementar debe cumplir, al menos, con siguientes requerimientos:

Respecto a diseño

- Estar basada en software libre
- Ser adaptable con redes de sensores heterogéneas
- Disponer de una administración de usuarios (20 usuarios en simultáneo)
- Incluir los límites y estándares de calidad ambiental según la legislación peruana

Respecto a funciones

- Actualizar la información en tiempo real
- Reconfigurar el período de recolección de datos según se solicite
- Enviar mensajes de alerta por correo electrónico en caso se excedan los límites de calidad ambiental

3. Capítulo3: Análisis y diseño

3.1 Metodología

El Lenguaje Unificado de Modelado UML, es un lenguaje visual para especificar, construir y documentar los componentes de sistemas intensivos en software. Diseños de software complejos dificultan la descripción textual de las funciones, mientras que a través de diagramas, usando UML *Modeling*, proporciona visualización, validación y comunicación clara facilitando la integración de todos los procesos durante el ciclo de vida de desarrollo través de diferentes tecnologías de implementación. [IBM-Soft]

Bajo esta metodología, se considerará el diseño del diagrama conductual de casos de uso, para analizar los requerimientos solicitados; y de los diagramas estructurales de clases para el diseño temprano y futuro de la plataforma y de despliegue para establecer la arquitectura de ejecución de la plataforma y las relaciones entre *hardware* y *software*.

3.2 Diagrama de casos de uso

El Diagrama de Casos de Uso permite describir relación entre los actores y los usos del sistema representado las funcionalidades que brinda en cuanto a su interacción externa. Sus elementos son los actores, como entidades externas que realizan interacciones con el sistema, casos de uso, representado por una elipse que describe la secuencia de las interacciones entre un actor y el sistema, y las relaciones entre éstos que pueden ser *extend* o *include*. [UML-UPM]

- Actores
 - Invitado: Persona que accede a la plataforma sin autenticarse. Se le asignan permisos de lectura no gráfica de la data recolectada y las funciones de búsqueda según determinados campos
 - Usuario: Persona registrada en la plataforma, que su cuenta ha sido activada y se ha autenticado satisfactoriamente

- Administrador: Usuario con autorización para añadir, actualizar o eliminar elementos de la data recolectada y de los usuarios
- Especialista: Usuario con permisos de añadir, actualizar o eliminar elementos de la red de sensores

- Casos de usos

- Registrar cuenta

Si el invitado está interesado en registrarse para hace uso de las funciones en su totalidad, en primer lugar ingresará sus datos para que sean validados por el sistema, la cuenta recién creada incluye su usuario, perfil y la facultad de crear reporte y ambientes de monitorización. La cuenta se activará cuando el usuario ingrese al link de activación proporcionado en su correo electrónico ya indicado, al iniciar sesión con su cuenta activada podrá realizar las personalizar los parámetros permitidos. Este proceso se

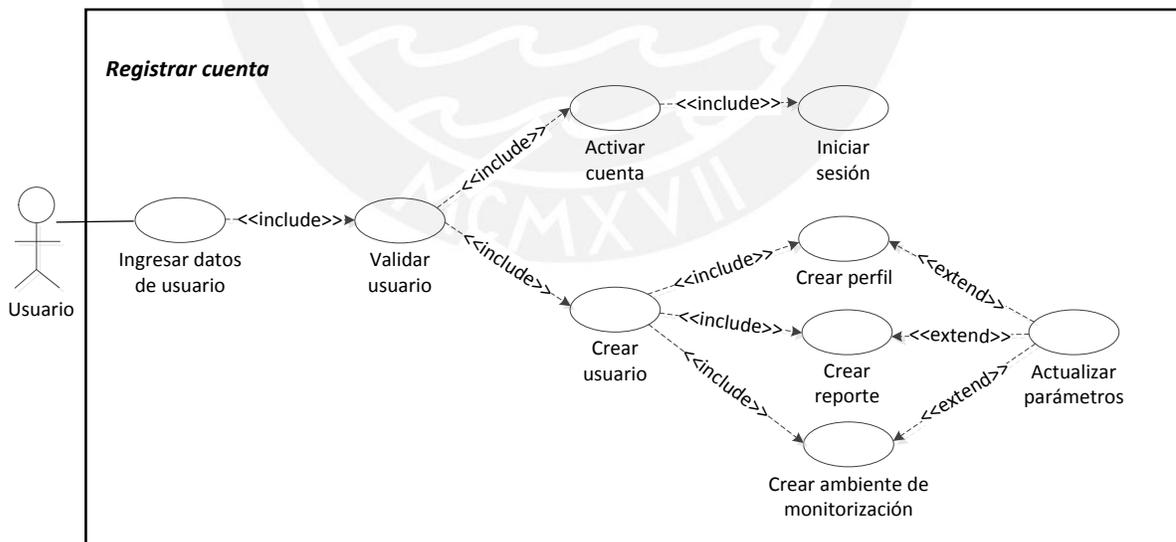


Figura 3.1 Diagrama de casos de uso: registrar cuenta

- Crear reporte

El usuario tiene la capacidad de crear reportes según sus preferencias, para ello es necesario configurar los parámetros de la red de sensores que desea conocer, así como también programar un reporte de lo seleccionado. Para esto, la plataforma se encarga de validar los datos en el período deseado y el estado del usuario si se encuentra suscrito para finalmente exportar el reporte manualmente o de forma automática ya programada.

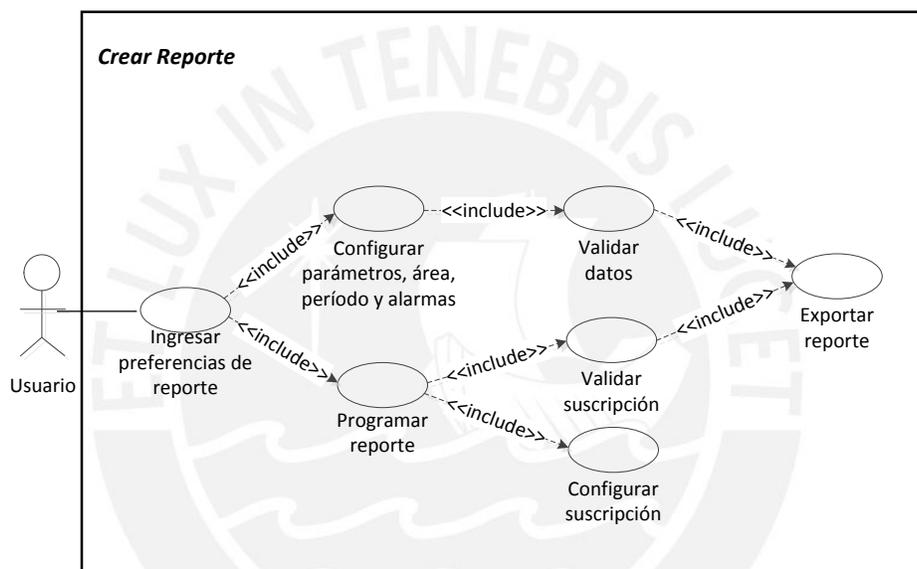


Figura 3.2 Diagrama de casos de uso: crear reporte

- Gestionar redes de sensores

Un especialista con permisos de administrador puede crear los componentes de la red de sensores como los nodos Gateway, los nodos sensores y los sensores, así como los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental que se desean gestionar o actualizar alguna configuración en la plataforma respecto a éstos. Los parámetros que se pueden reconfigurar son la ubicación, dirección física, unidades, tiempo de muestreo, relación entre nodos y sus sensores, normas actualizadas, entre otros.

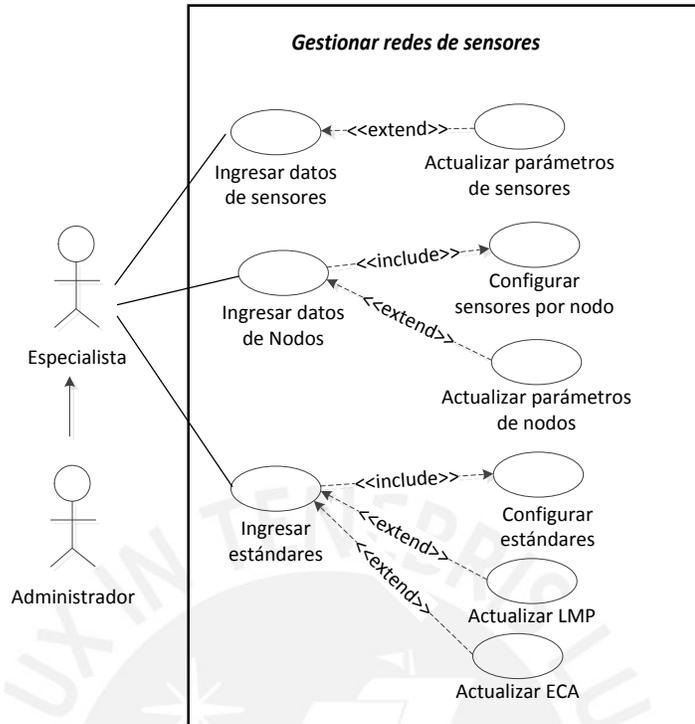


Figura 3.3 Diagrama de casos de uso: gestionar redes de sensores

- Acceder a un ambiente de monitorización

Se dispone de dos ambientes de monitorización, uno con limitaciones para un invitado que podrá observar la data recolectada y su estado en forma de listado que, a su vez, es posible aplicar algunos filtros de búsqueda por ubicación, período o algún sensor específicamente; asimismo, este tiene la posibilidad de registrarse en el sistema para acceder a todas las funcionalidades de un ambiente de monitorización luego de validar y activar su cuenta.

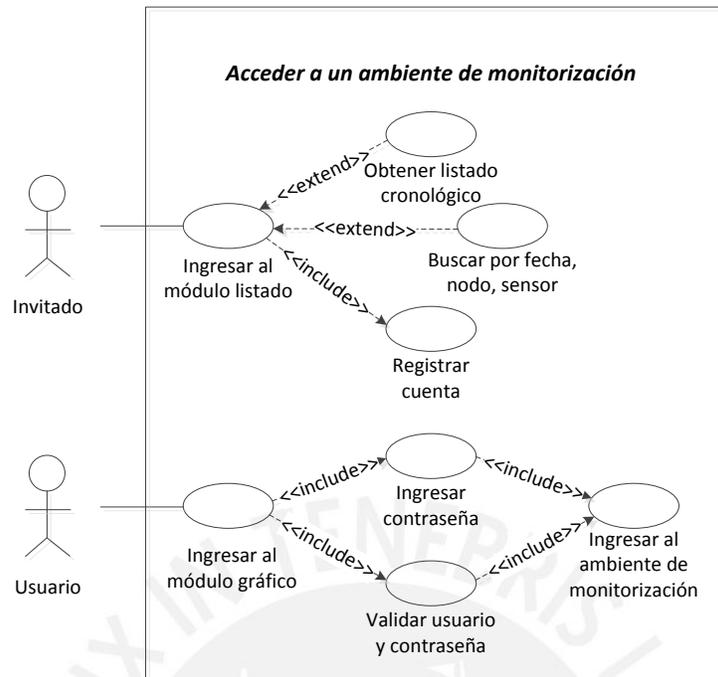


Figura 3.4 Diagrama de casos de uso: acceder a un ambiente de monitorización

- Gestionar ambiente de monitorización

El usuario al ingresar a un ambiente de monitorización es posible su gestión mediante la selección de sensores o parámetros existentes, los nodos sensores, el período de observación y actualizarlos según sea de interés, así como también reconocer el nivel de contaminación donde éste podrá interpretar la data verificando el estado de la data recolectada y sus respectivos niveles de contaminación aceptable, así como las alarmas por exceder los niveles permitidos.

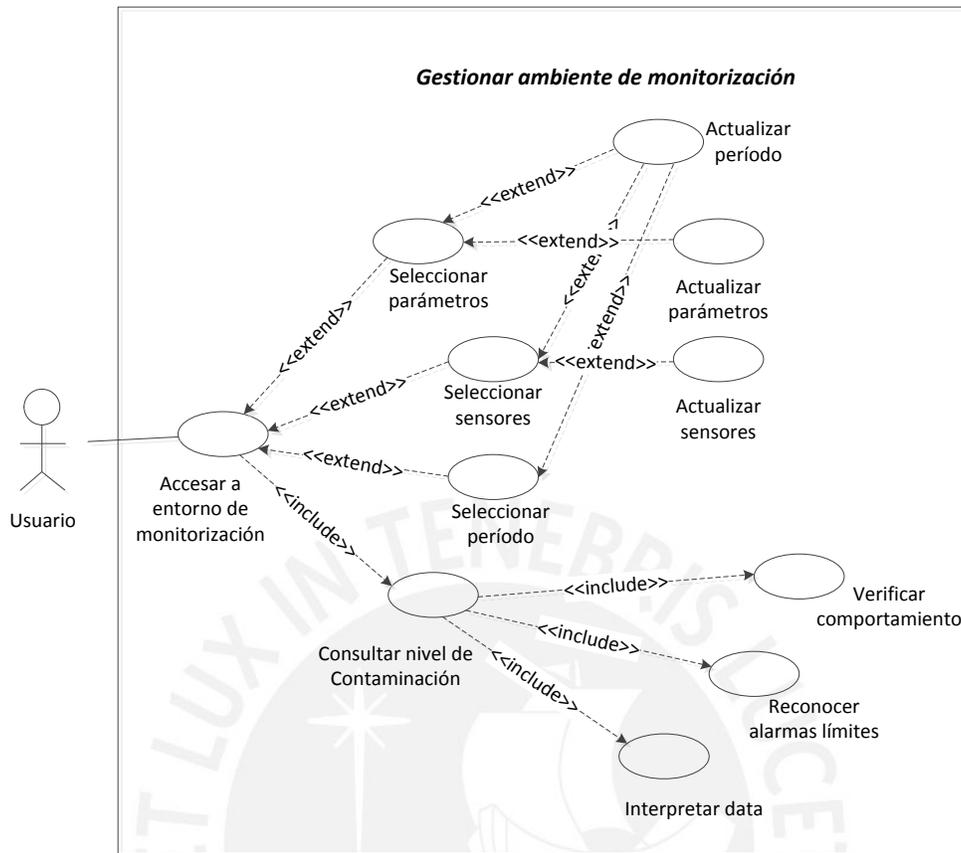


Figura 3.5 Diagrama de casos de uso: gestionar ambiente de monitorización

- Gestionar alarmas

El usuario podrá recibir alertas debido a un error de medición, de calibración, de no respuesta por los sensores, de pérdida de data debido a la red de transporte o debido al exceso de los niveles permitidos según lo configurado previamente en los LMP y ECA. La gestión de alarmas requiere de una suscripción del usuario en la que indica su correo electrónico, además le permitirá establecer sus preferencias, las cuales son configurables en cualquier momento según las necesidades del usuario.

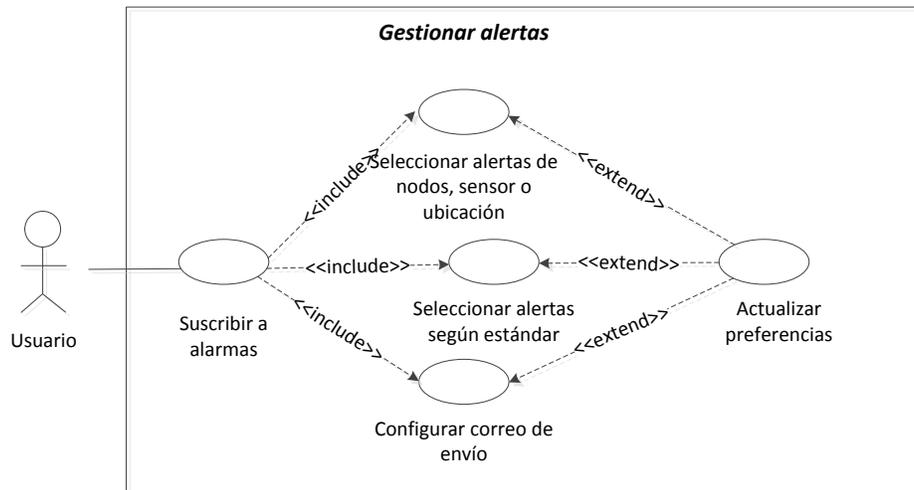


Figura 3.6 Diagrama de casos de uso: gestionar alertas

3.3 Diagrama de clases

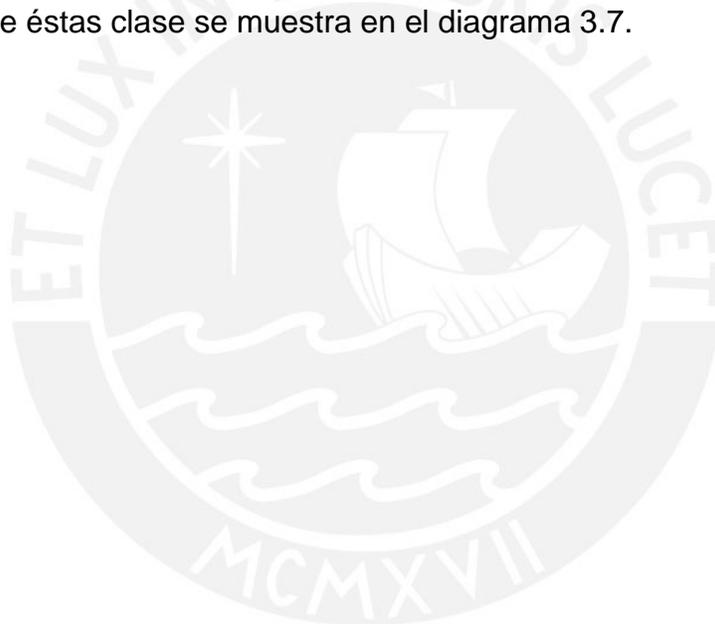
Las clases son definidas como el más importante concepto de modelamiento en la estructura del UML, en la que cada clase es un elemento meta-modelo del UML. A través de la representación en un diagrama, donde se agrupan los conceptos más representativos y sus relaciones, se podrá identificar claramente las clases del sistema. [RTO-UML]

Mediante el análisis de los requerimientos de la plataforma se ha considerado adecuado la creación de las siguientes clases:

- Clase usuarios, clientes registrados en la plataforma
- Clase *logs*, registro de las acciones realizadas por los usuarios
- Clase suscripción, suscripción de usuarios a tipos alertas de la plataformas según sus preferencias
- Clase alerta, alertas de falla sensores, nodos o incumplimiento de estándares registrados por la plataforma
- Clase data, data recolectada por los sensores a través del tiempo
- Clase estado, estados identificados de la data, sensores, nodos, parámetros, alertas y estándares

- Clase sensor, sensores registrados y sus características
- Clase nodo, nodos registrados y sus características
- Clase estándar, estándares considerados para la supervisión ambiental
- Clase parámetro, parámetros compuestos por sensores, sus nodos y estándares asociados

Siendo las clases parámetro y data las fundamentales para la plataforma; a su vez, alerta, suscripción, y usuarios permiten la integración de sus principales funcionalidades. Las clases nodos, sensores, estándares son el fundamento para la clase parámetro, mientras que para data son parámetro, alerta y estado; y para alerta son necesarias las clases de suscripción, usuarios, sensor, nodo y estándar. La relación entre éstas clase se muestra en el diagrama 3.7.



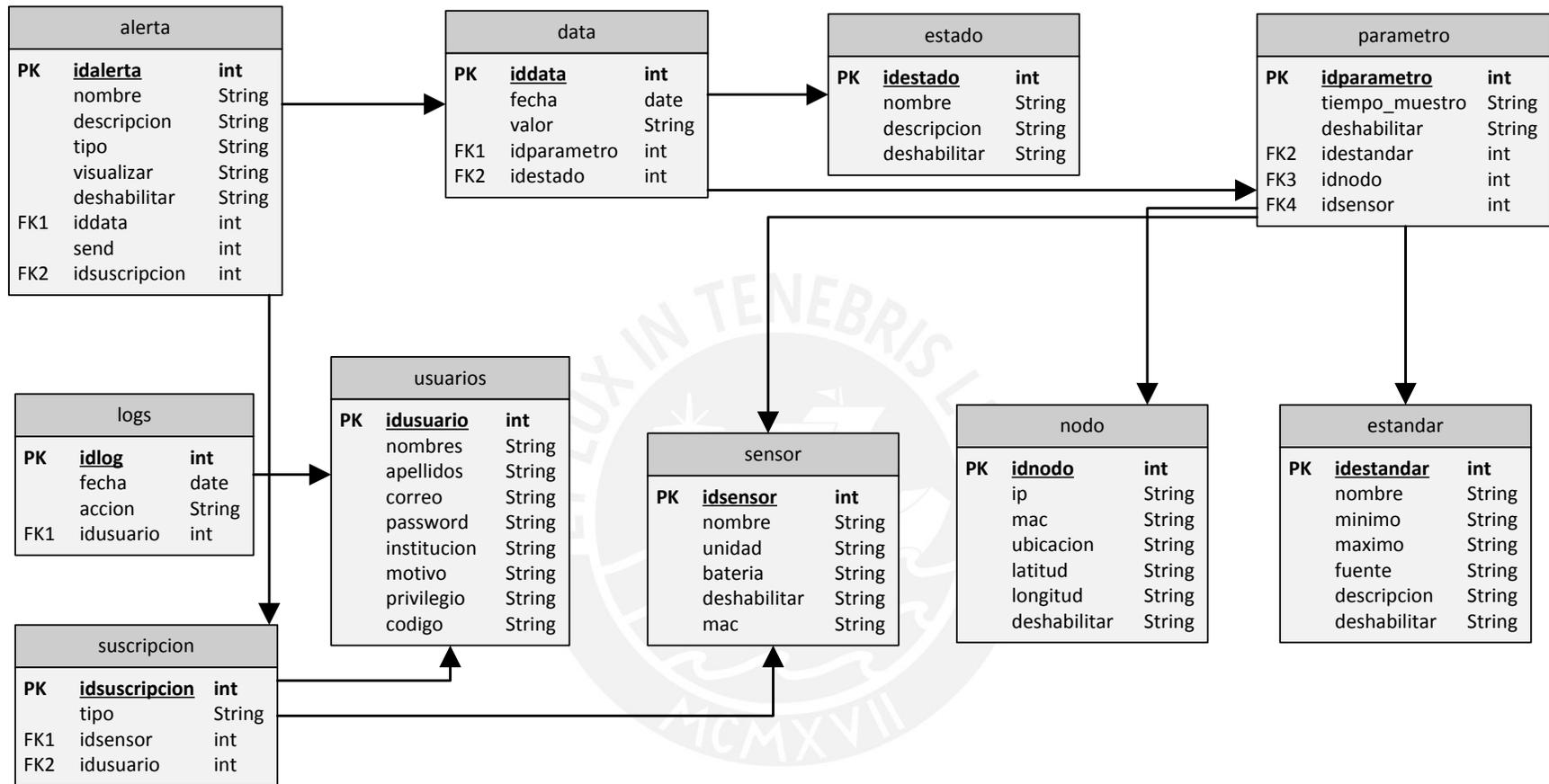


Figura 3.7 Diagrama de clases

3.4 Diagrama de despliegue

El diagrama de despliegue, usado como diagrama estructural en la fase de implementación y despliegue, muestra la forma en que se implementan las diferentes partes de un sistema, como nodos (elementos donde se ejecutan los componentes y representan su despliegue físico) y componentes (elementos que participan en la ejecución del sistema y representan el empaquetamiento físico de los elementos lógicos), en el entorno de hardware. En éste, se especifica la el conjunto de construcciones y los elementos concretos físicos de la arquitectura de ejecución del sistema. [UML-UPM] [RTO-UML]

El diagrama de despliegue (Figura 3.8) posee los siguientes componentes:

- Navegador

El *browser* deberá soportar HTML5.

- Servidor Web

Servidor Web Apache que cuenta con un módulo PHP con Ubuntu 12.04 LTS como sistema operativo, disco duro de 80 GB y 2GB de memoria RAM. Se encargará de la gestión de ambientes o salas de monitorización y de la gestión de alarmas. El navegador al solicitar alguna información establece una sesión usando el puerto 80.

- Servidor de Base de datos

La plataforma emplea dos bases de datos MySQL homogéneas distribuidas, una ubicada en la ciudad de Iquitos y otra en el pueblo de Santa Clotilde, Loreto intercomunicadas por la red de transporte de Wi-Fi de telemedicina del GTR-PUCP. En la bases de datos se almacenan principalmente usuarios, elementos de la red de sensores y estándares de calidad ambiental que son empleando en las diversas funcionalidades del sistema. El puerto asignado hacia el servidor Web es el 3306, ante caídas del enlace las bases de datos se sincronizan.

- Middleware

El middleware se implementará en un sistema embebido con un módulo PHP, posee el sistema operativo Voyage-0.8.5 Linux, 433MHz de CPU, 128MB de DDR RAM y almacenamiento en una *CompactFlash* de 2GB. Éste se encargará de establecer la conexión empleando TCP/IP, y el módulo PHP con el nodo sensor con la finalidad de extraer la data requerida por la plataforma. Asimismo, se encargará de la uniformización de las unidades de medida según los estándares.



Diagrama de despliegue

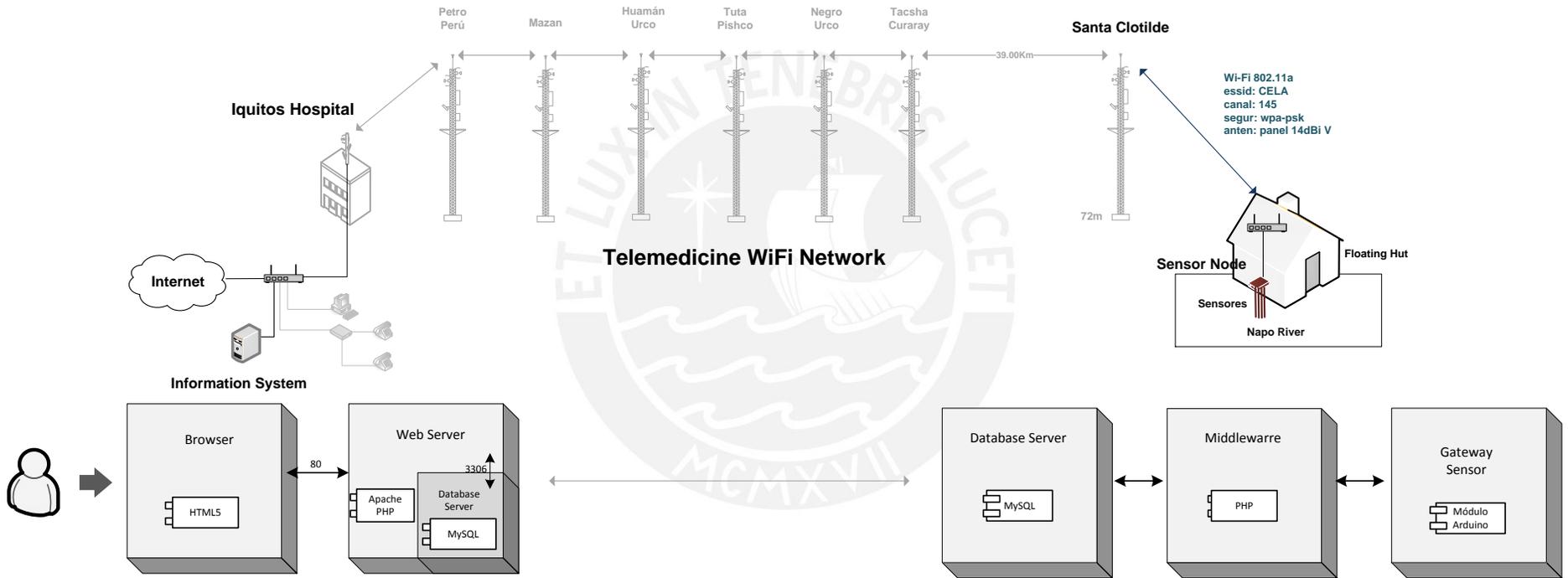


Figura 3.8 Diagrama de despliegue

4. Capítulo 4: Implementación y validación

4.1. Herramientas fundamentales

Para la implementación de la plataforma se han empleado las siguientes herramientas:

- Sistema operativo GNU/Linux Ubuntu Desktop 12.04 LTS
Sistema operativo basado en Debian que no cuenta con licencias de pago, posee una versión de apoyo por un período de 5 años hasta abril de 2017, bajo un soporte de continua mejora que garantiza su seguridad y estabilidad. [LTS-UBW]
- Sistema operativo Voyage Linux 0.8.5
Sistema operativo Linux embebido con una arquitectura de 32 bits, está basado en Debian 6.0.5 *Squeeze* y no cuenta con licencias de pago. Se utilizará en el sistema de la placa Alix 2d0 para la implementación del middleware. [VOY-LIN]
- Apache 2.2.26
Servidor HTTP de código abierto que soporta diversos sistemas operativos como UNIX y Windows NT, el Apache HTTP Server Project están continuamente mejorando para que sea un servidor seguro, eficiente y extensible, que proporcione servicios HTTP en sincronización con los estándares HTTP actuales. Actualmente, según Netcraft, a nivel global el 51.59% de los servidores web activos utilizan Apache. Entre las mejoras que presenta esta versión cuenta con *Improved Caching*. [HTTP-SP] [NOV-NTC]
- PHP 5.5.6
Lenguaje de *scripting* de propósito general, de código abierto y adecuado para el desarrollo web. Soporta múltiples plataformas, es rápido, flexible y pragmático. En la plataforma se emplea como módulo del servidor Apache y del middleware. Esta versión corrigió los errores del manejo de espacios en blanco en la elaboración de la data en formato JSON. [PHP-556].

- JQPlot 1.0.8 r1250

Herramienta de código abierto para trazar gráficas y cuadros basadas en jQuery Javascript. El trazado de las líneas, ejes, sombras, cuadrícula, y otros se manejan utilizando *plugins* que son *renderizándose*. Entre las características más resaltantes están el soporte de hasta 9 ejes de ordenadas que facilita la comparación de parámetros, ejes de fechas los cuales son adecuados para conocer la data en el tiempo, gráficos personalizables y el cálculo automático de la línea de tendencia que se ajustará a la data correspondiente. [JQ-PLOT]

- MySQL 5.0

Base de datos relacional, multiplataforma y de código abierto bajo licencia GPL, alto rendimiento operacional, cuenta con *joins* muy rápidos usando *multi-joins* de un paso optimizados, proporciona sistemas de almacenamiento transaccionales y no transaccionales, sistema de privilegios y contraseñas flexible y seguro, y escalabilidad de 50 millones de registro y 64 índices por tabla, tiene baja probabilidad de corromper datos lo que favorece que la integridad de la data, necesita requerimientos de bajo costo y consumo apropiado para la base de datos que se implementará en el sistema embebido ALIX. [MSQL-FE]

- Yii Framework 1.1.14

Framework de alto rendimiento para el desarrollo de aplicaciones web 2.0. Resalta por su almacenamiento en caché y soluciones de *caching* sofisticadas permitiendo el manejo de grandes cantidades de tráfico, autenticación, control de acceso basado en roles haciendo eficiente la validación entradas, ingresos SQL, manejo de errores y registros, MVC y DAO, está orientado a objetos (OOP), y es compatible con otros *frameworks* como Zend o Symfony. De esta manera, tiene una estructura ágil, simple, rápida, versátil y seguro. Para emplear este *framework* es necesario contar con PHP 5.1.0 o superior. Además, cuenta con una comunidad activa y documentación clara que guían en la elaboración del proyecto. [GET-YII]

• Características técnicas

Tabla 4.1 Características técnicas de las herramientas empleadas

Apache 2	MySQL	PHP 5	Yii Framework	JSON
<ul style="list-style-type: none"> • Disponible para múltiples sistemas operativos • Gratuito y de código abierto • Configurable y diseño modular • Compatibilidad con lenguajes Perl, PHP, Python, Java, entre otros • Personalización de respuestas ante errores • Gestión de logs 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponible para múltiples sistemas operativos. • APIs disponibles para C, C++, Java, Perl, PHP, Python, Ruby • Simple adición a otro sistema de almacenamiento • Sistema de reserva de memoria basado en threads • Joins y multijoins de un paso optimizado • Disponible como programa separado cliente/servidor • Diversos tipos de columnas: float, varchar, text, blob, date, datetime, timestamp, y OpenGIS, etc. • Longitud fija y variables de registros • Soporte completo para operadores, agrupación, cumpliendo estándares y sintaxis SQL y ODBC • Sistema de privilegios y contraseñas flexibles y seguros • Soporte de 50 millones de registros • Conectividad mediante sockets TCP/IP 	<ul style="list-style-type: none"> • Autenticación HTML a través de PHP • Soporte transparente de cookies • Administración de sesiones • Gestión de archivos (POST, PUT, errores, uploading de múltiple archivos) • Uso de archivos remotos • Ejecución en modo seguro • Uso de líneas de comandos, built in web server, shell interactivo e INI settings • Extensión PDO 	<ul style="list-style-type: none"> • Patrón de diseño Modelo-Vista-Controlador • Objetos de acceso a base de datos (DAO) • Formularios de validación • Reproducción AJAX • Autenticación y autorización basado en roles jerárquicos (RBAC) • Personalización de temas por capas • Servicios Web WSDL y Gestión de solicitudes • Soporte de varios idiomas, formatos de fecha, hora, e interfaz de localización • Almacenamiento de caché por capas • Registro y procesamiento de errores • Prevención de ataques como inyección SQL, XSS, CSRF • Pruebas independientes por funcionalidad basadas en PHPUnit y Selenium • Generación automática de código, CRUD (Create, read, update and delete) • Soporta incorporación con otros frameworks como PEARL o Zend • Extensiones adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Formato simple de intercambio de datos • Par ordenado de nombre/valor • Estructura universal, soportada por la mayoría de lenguajes en arreglos, vectores, listas o secuencias • Compatible con C, C++, Java, JavaScript, Perl, Python, entre otros

4.2 Prototipos o Interfaces

4.2.1 Acceso inicial

- Página principal

La portada de bienvenida de la plataforma de monitorización de redes de sensores se enfoca en la facilidad de uso y en el acceso a los usuarios de manera que sea una interfaz intuitiva. Los navegadores que soporten HTML5 como Chrome, Firefox y Opera son altamente recomendados tanto para computadores, tabletas y teléfonos móviles. [HTLM-5T]



Figura 4.1 Portada de la Plataforma de Monitorización

- **Registrar cuenta**

La interfaz de registro de una cuenta permite al usuario inscribirse con sus datos personales, ingresando sus nombres y apellidos, correo electrónico (de cualquier dominio), contraseña y el motivo de uso. Los campos requeridos son validados tanto en longitud como el uso de caracteres permitidos y que puedan registrarse una vez.



Figura 4.2 Registro de cuenta

- **Actualización del perfil del usuario**

Luego de la validación y activación de su cuenta, el usuario dispone de opciones de actualización de usuario, contraseña y motivación de uso.

PUCP **Monitorización de Redes de Sensores**

Principal Componentes Historial Tiempo real Contacto Perfil Salir (admin)

Home » Usuarios » Joel Orlando » Actualizar

Actualizar información de Joel Orlando

Campos requeridos *.

Nombres *
Joel Orlando

Apellidos *
Aragón Valladares

Correo *
joel.aragon@pucp.edu.pe

Password *

Institucion *
GTR PUCP

Motivo *
Pruebas

Save

Operations
Listar Usuarios
Crear Usuarios
Ver Usuarios
Administrar Usuarios

Figura 4.3 Actualizar información de usuario

4.2.2. Gestión del entorno de monitorización

Los invitados o personas no registradas en la plataforma, también pueden conocer el comportamiento de los sensores disponibles de forma limitada bajo una interfaz de listado cronológicamente ordenado y con las opciones de filtrados según el tipo de sensor, nodo o fecha registrados.

PUCP **Monitorización de Redes de Sensores**

Principal Componentes Historial Tiempo real Contacto Perfil Salir (joel.aragon@pucp.edu.pe)

Home » Data

Información sensada

Desplegando 1851-1860 de 13255 resultados.

Operations
Administrar data recolectada

<p>Fecha: 2013-07-29 17:38:00 Ubicación: Piloto Cela - Santa Clotilde Sensor: PH Valor: 6.88272 Estado: activo</p>
<p>Fecha: 2013-07-29 17:38:00 Ubicación: Piloto Cela - Santa Clotilde Sensor: Oxígeno Disuelto Valor: 5.96942 Estado: activo</p>
<p>Fecha: 2013-07-29 17:38:00 Ubicación: Piloto Cela - Santa Clotilde Sensor: Temperatura Valor: 25.2684 Estado: activo</p>
<p>Fecha: 2013-07-29 16:38:00 Ubicación: Piloto Cela - Santa Clotilde Sensor: Turbidez</p>

Figura 4.4 Listado de data recolectada

Por otro lado, a partir de la activación de la cuenta del usuario, se establece su perfil y podrá emplear las funcionalidades de la plataforma según sus intereses. El usuario puede apreciar un entorno en tiempo real, con un período de actualización de acuerdo con la recolección de la data, el comportamiento de los sensores con sus respectivos estándares y los estados de las alertas encontradas.

Asimismo, se cuenta con un área de alertas, la cual se encuentra dentro del entorno de monitorización. En éste se halla una subsección donde se manifiestan las alertas detectadas que pueden ser alertas debido a fallas en un sensor o debido al sobrepaso de los límites máximos permitidos o el incumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental. Se puede observar el área de alertas en la sección izquierda de la figura 4.5.

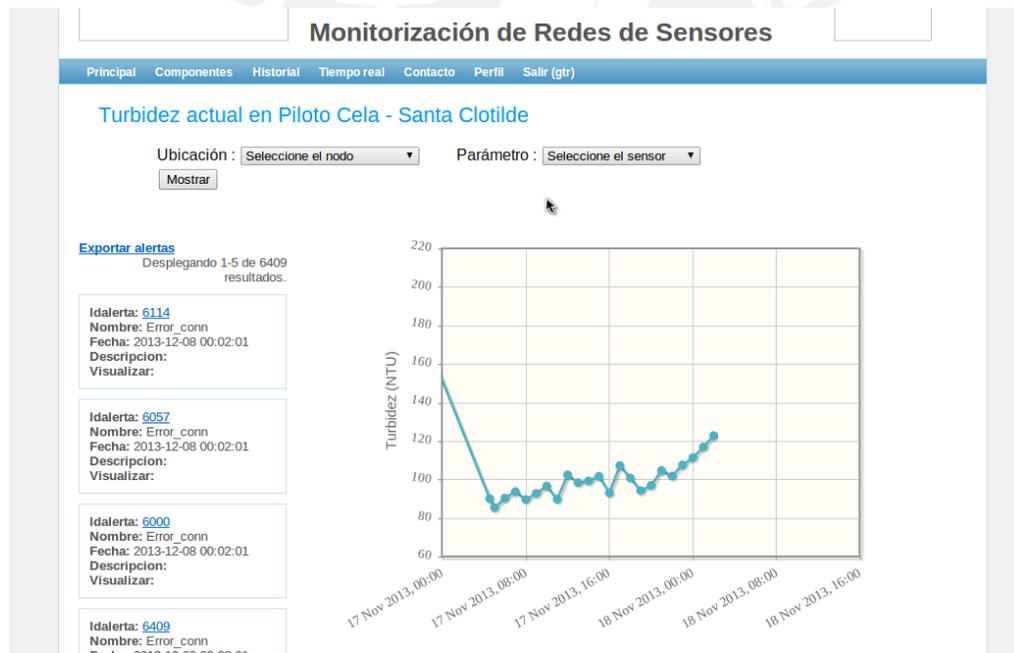


Figura 4.5 Entorno de monitorización en tiempo real

La variación de la data recolectada se puede realizar de dos maneras (i) a través de la sección de los nodos sensores que mostrará los sensores asociados o (ii) mediante la elección de sensores que observará sus nodos asociados. De tal forma

que se realice una búsqueda multiparámetro, ya sea por área de cobertura o parámetro de interés. Para obtener la data actualizada se colocó un *script* que verifica si ha llegado una trama al nodo sensor con una frecuencia determinada por el especialista o administrador.

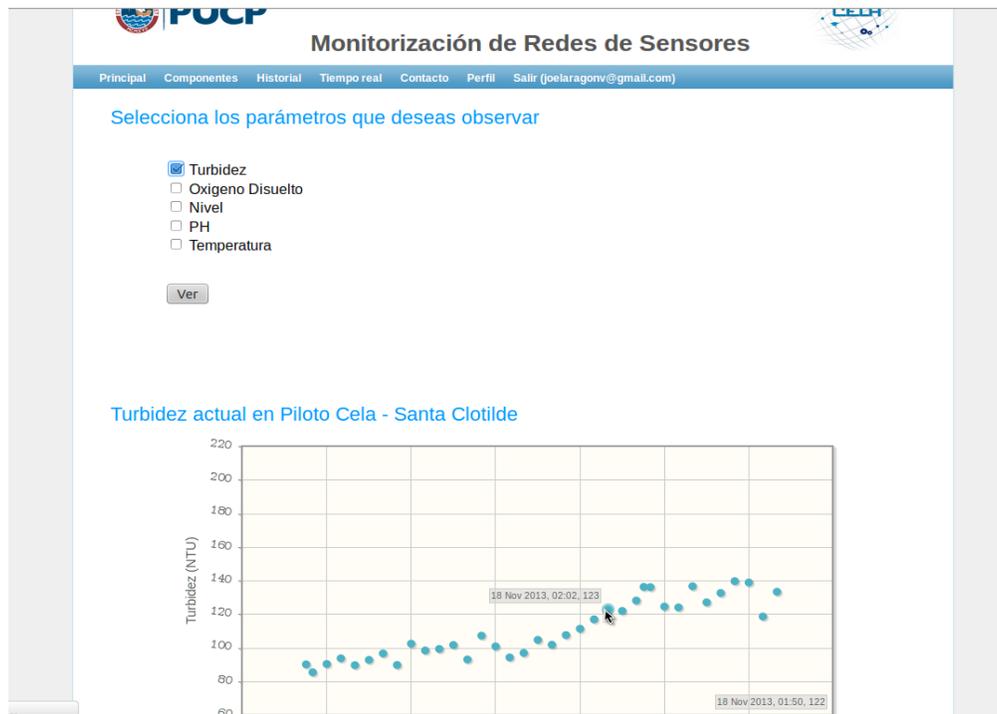


Figura 4.6 Entorno de monitorización en tiempo real según sensores por nodo

Comparación con estándares de calidad ambiental

Los valores detectados por los sensores son comparados con los Límites Máximos Permitidos y los Estándares de Calidad Ambiental según el tipo de sensor y analizados bajo la legislación peruana, los cuales se detallaron en el capítulo 1.

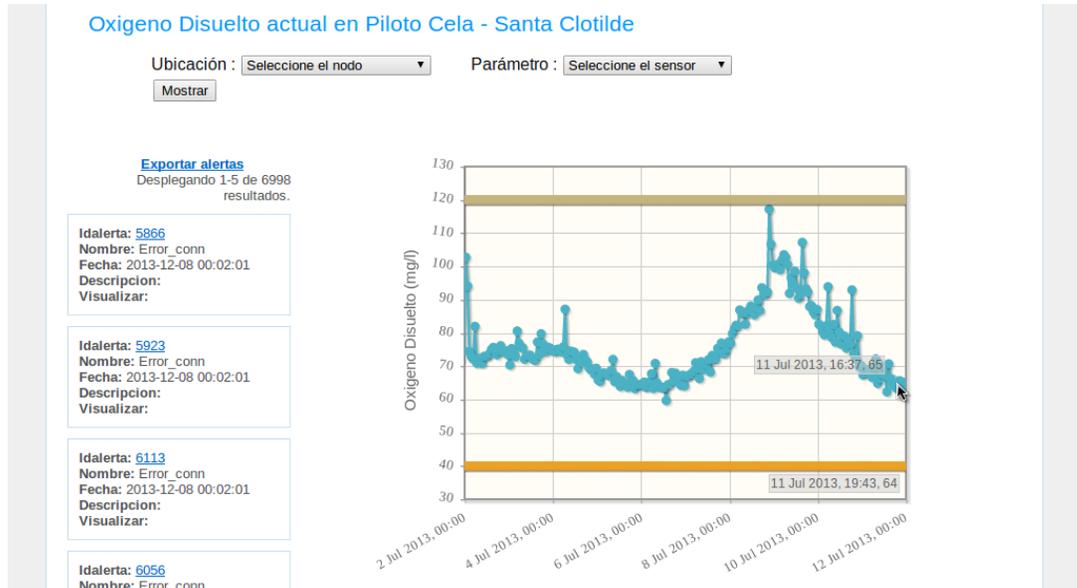


Figura 4.7 Comparación con estándar de Límite Máximo Permissible para el sensor de Oxígeno Disuelto

Funcionalidades de zoom y exportación

Adicionalmente se ofrece acercamiento de la gráfica seleccionando el área con el cursor y el regreso a la gráfica original haciendo doble clic, y exportación de la gráfica de interés en formato JPG.

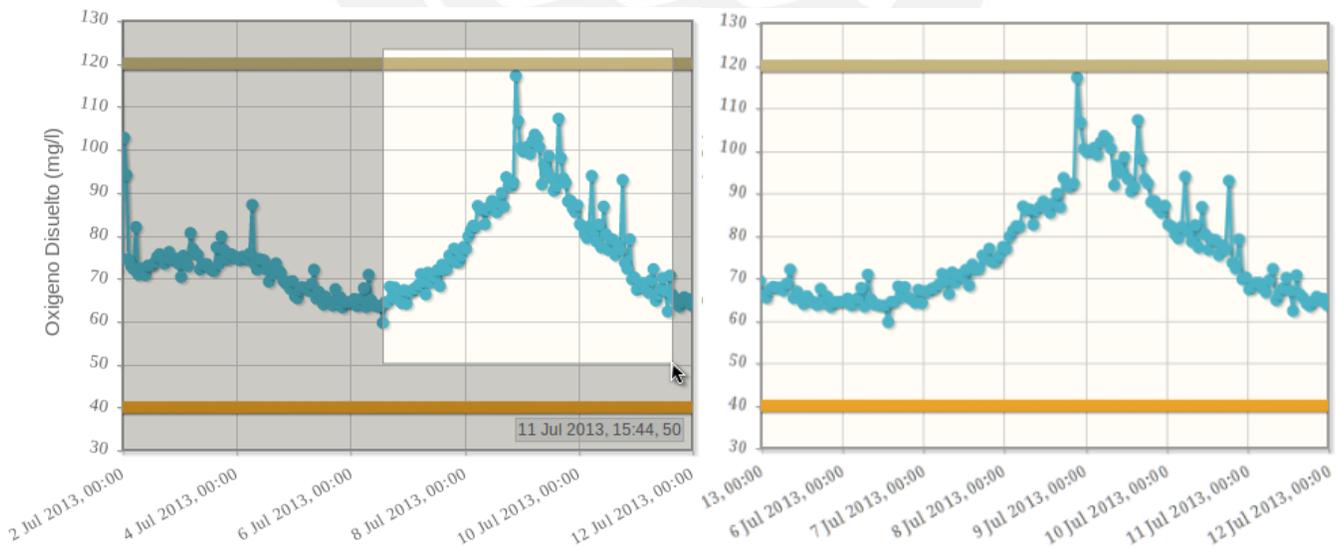


Figura 4.8 Selección y resultado de un rango para realizar un zoom

Historial

En el módulo de Historial se proporciona las mismas funcionalidades mencionadas anteriormente, es decir, la sección multiparámetro, la comparación con estándares, las alertas y la exportación de gráficas. A éstas, se agregaron las funcionales de selección de un rango o período de interés, y la comparación entre diferentes sensores por área o diferentes áreas por sensor.

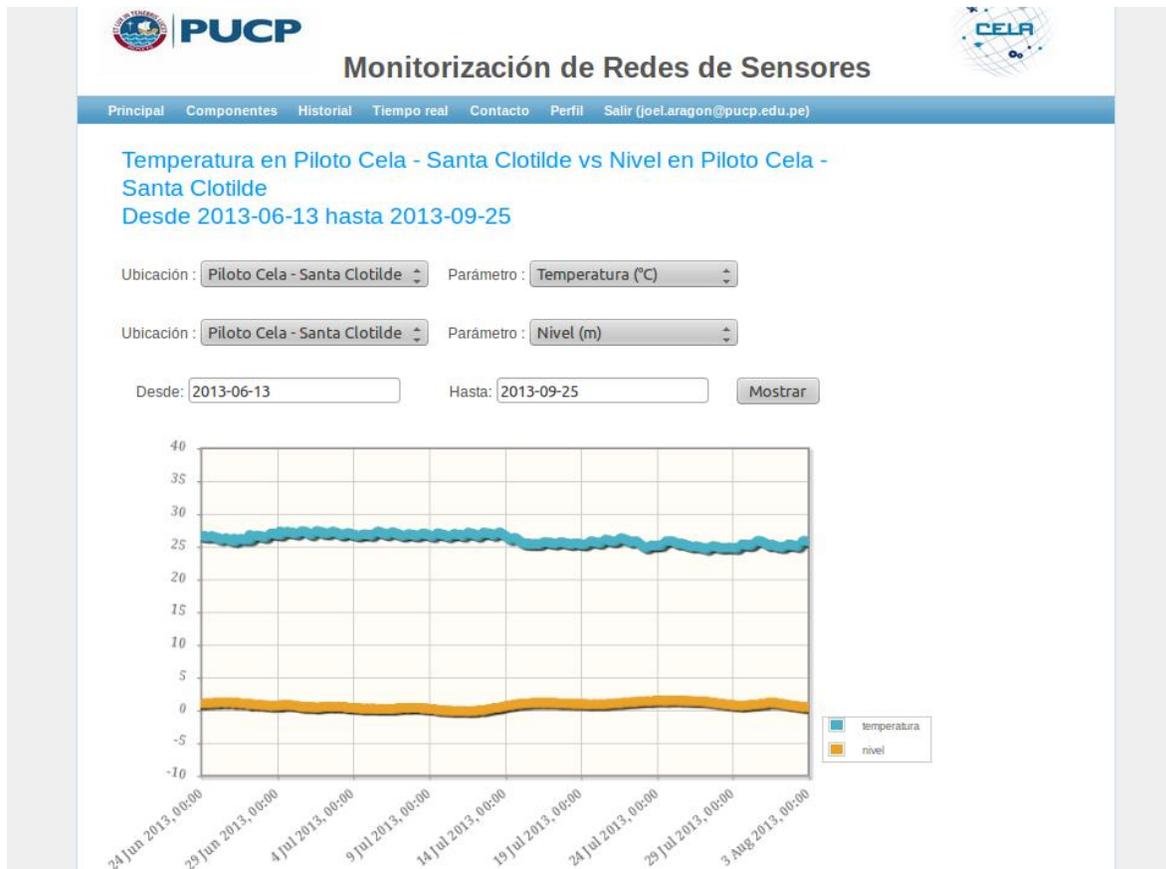


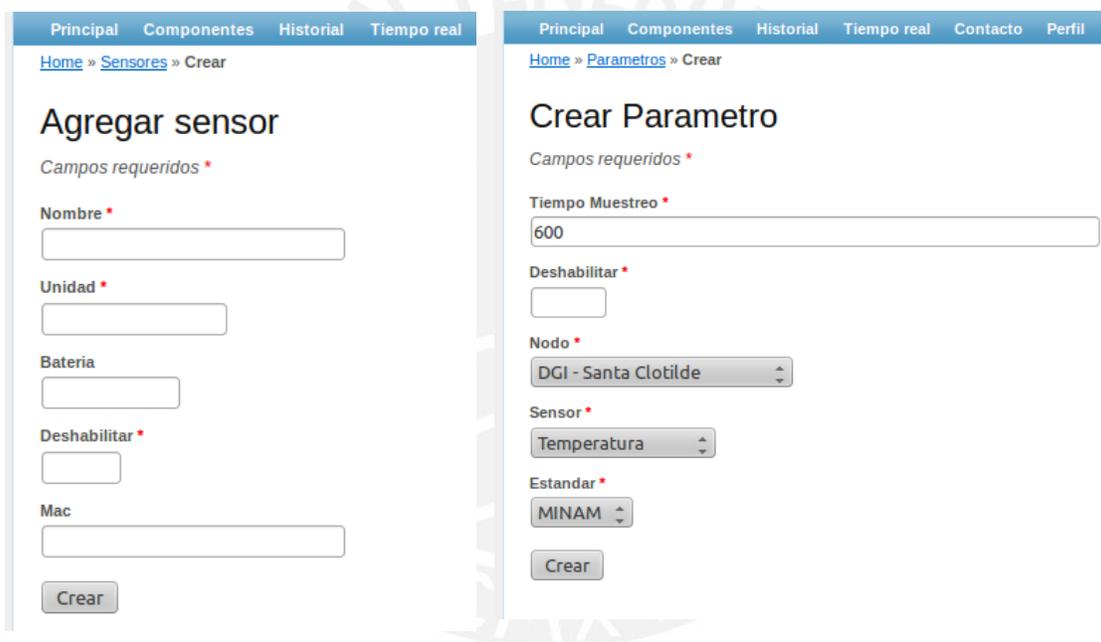
Figura 4.9 Selección de un período y comparación con otro sensor

4.2.3. Gestión de redes de sensores

Esta es una las funcionalidades más importantes para el correcto funcionamiento del Servicio Web implementado. Los usuarios con privilegios de especialista podrán realizar la agregación y actualización de los nodos sensores, sensores y sus conjuntos, estándares y sus respectivas características.

- Registro de sensores, nodos y parámetros

Para el registro de sensores se tiene que completar los campos obligatorios de nombre de sensor, unidad de medición y tiempo de muestro. Así como también, los nodos sensores al registrarlos son necesarios los campos de ubicación, dirección IP y MAC. Los parámetros, que son la asociación de un nodo sensor con sus respectivos sensores, se registran según la disponibilidad de los nodos y sensores que se hayan inscrito previamente. Se incluye la actualización de sus características, que el usuario con privilegios de especialista puede realizar.



The image shows two side-by-side screenshots of a web application interface. The left screenshot is titled 'Agregar sensor' and contains the following fields: 'Nombre *' (text input), 'Unidad *' (text input), 'Bateria' (text input), 'Deshabilitar *' (checkbox), and 'Mac' (text input). The right screenshot is titled 'Crear Parametro' and contains the following fields: 'Tiempo Muestreo *' (text input with value '600'), 'Deshabilitar *' (checkbox), 'Nodo *' (dropdown menu with 'DGI - Santa Clotilde'), 'Sensor *' (dropdown menu with 'Temperatura'), and 'Estandar *' (dropdown menu with 'MINAM'). Both screenshots have a navigation bar at the top with 'Principal', 'Componentes', 'Historial', and 'Tiempo real'.

Figura 4.10 Registro de sensor y de parámetro

- Registro de estándares

En este entorno se añadirá los estándares según las normas y leyes peruanas, éstos son principalmente los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental. Se deberá completar obligatoriamente las cantidades de concentración mínima y máxima, así como la fuente y una breve descripción.

Incluso, se dispone de la opción para habilitar o no el estándar agregado. Las actualizaciones de sus características pueden llevarse a cabo cuando se requieran.



Monitorización de Redes de Sensores

Principal Componentes Historial Tiempo real Contacto Perfil Salir (joel.aragon@pucp.edu.pe)

Home » Estandares

Estandares Desplegando 1-2 de 2 resultados.

Idestandar: 1 Nombre: MINAM Minimo: 40 Maximo: 120 Fuente: MINAM Descripcion: MINAM Deshabilitar: 0	Operations Crer Estandar Administrar Estandar
Idestandar: 2 Nombre: inei2 Minimo: 60 Maximo: 100 Fuente: iei Descripcion: ein Deshabilitar: 0	

Copyright © 2014 by STR-PUCP
All Rights Reserved.

Figura 4.11 Actualización de estándares de calidad ambiental

4.2.4. Generación de reportes y alertas

Otra funcionalidad más resaltante de la plataforma es la creación de reportes y alertas. A través de ésta es posible la selección de data que sea de interés y será mostrada según el período de análisis, los sensores, los nodos, las alertas o los estándares que convenga. Antes de la generación del reporte, se validará si se dispone de la data requerida y se notificará por correo electrónico del usuario las alertas.

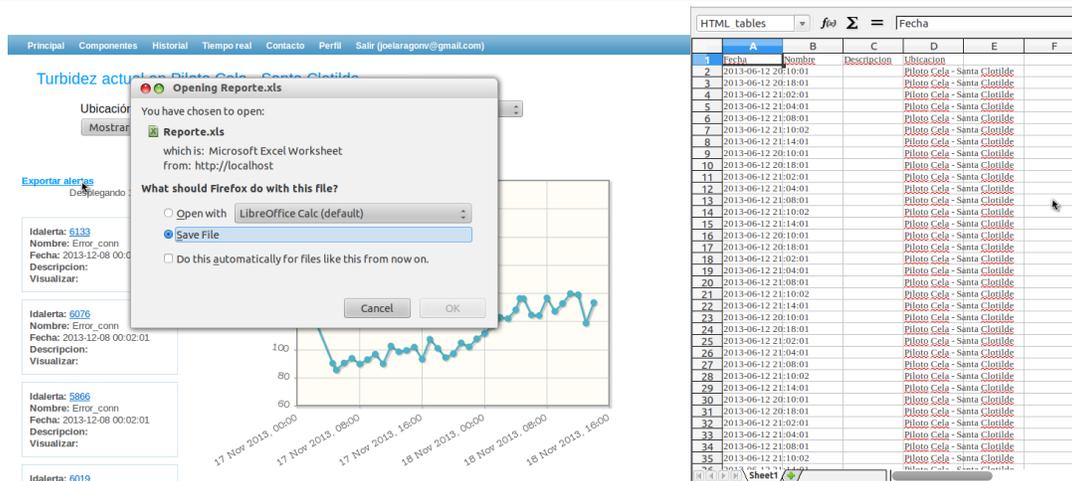


Figura 4.12 Generación de reporte de alertas



Figura 4.13 Notificación de alertas

4.3 Pruebas y validación

4.3.1. Pruebas de estrés

Mediante las pruebas de estrés será posible conocer cuantitativamente el desempeño del servidor frente a un número de conexiones simultáneas, viéndose afectados principalmente el uso del CPU y memoria RAM. Se realizarán las pruebas de estrés al servidor Apache, ya que será el responsable de soportar las sesiones establecidas y brindar el servicio de monitorización, donde el flujo de datos es mayor

cuando se desea observar comparaciones de comportamiento de los sensores en tiempo real o seleccionando un período largo.

Para conocer el estado del servidor frente a las conexiones que se realizan en simultáneo, se empleará el visor interactivo de procesos para Linux Htop [HTOP]. Una vez instalado el Htop, se ejecutará éste y se filtrará los procesos involucrados con apache2, que pertenece al servidor web.

La implementación del servidor web, con sistema operativo Ubuntu Desktop 12.04 LTS, se realizará en una computadora personal con las siguientes características:

Tabla 4.2 Características técnicas del servidor web

Componente	Características
Intel core 2 duo E8400	3.00 GHz + 6MB Caché L2 62 bits
Memoria RAM	2.00 GB

En estas pruebas de estrés en la funcionalidad de comparación de data recolectada, la cual involucra mayor cantidad de consumo de recursos. Para esto, se tuvo el personal del GTR-PUCP e interesados en realizar las pruebas de la plataforma logrando que un total de 20 personas accedan simultáneamente a la misma funcionalidad de forma constante. El tráfico generado hacia el servidor por cada usuario fue gradual conectándose uno a uno. Se obtuvo el siguiente comportamiento:

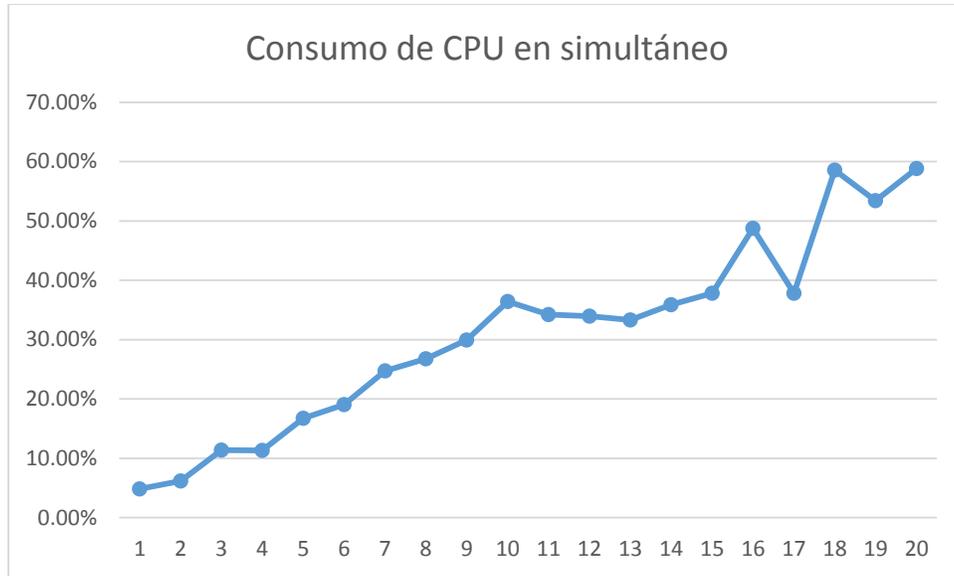


Figura 4.14 Consumo de CPU

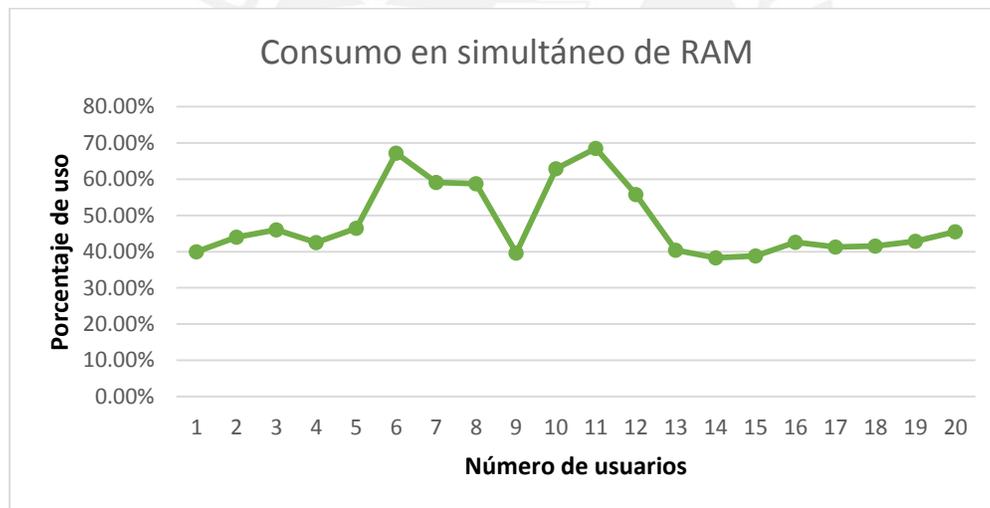


Figura 4.15 Consumo de memoria RAM

Se observa que el comportamiento del CPU tiene una pendiente conforme aumentan los usuarios progresivamente mientras realizan tareas en simultáneo, mientras que el uso de la memoria RAM en promedio es de 48%. Cabe mencionar, que el uso de cada tipo función que realiza el usuario influye en el desempeño del servidor de diferente forma según la cantidad de procesos involucrados en cada función, en los picos de la figura 4.15 se evidencia que los usuarios en ese momento

emplearon funciones que requieren mayor uso de memoria. Si se tienen 20 usuarios en simultáneo, según la tendencia el consumo del CPU sería de 60% y de la memoria RAM de 48% en promedio, siendo suficiente para que el servidor web funcione correctamente.

4.3.2. Validación POST TEST

En la realización de esta validación de usabilidad se tuvo un grupo experimental de 30 usuarios, colaboradores del Grupo de Telecomunicaciones Rurales, representantes del proyecto CELA y voluntarios, quienes accedieron a la plataforma validando cada una de sus funcionalidades. Quienes al finalizar el uso de las funciones de interés completaron una encuesta.

Para validar la facilidad de uso del sistema, en la encuesta se les preguntó qué tan rápido y cuánto les costó entender las funcionalidades de la plataforma.

¿Te fue difícil entender las funcionalidades?

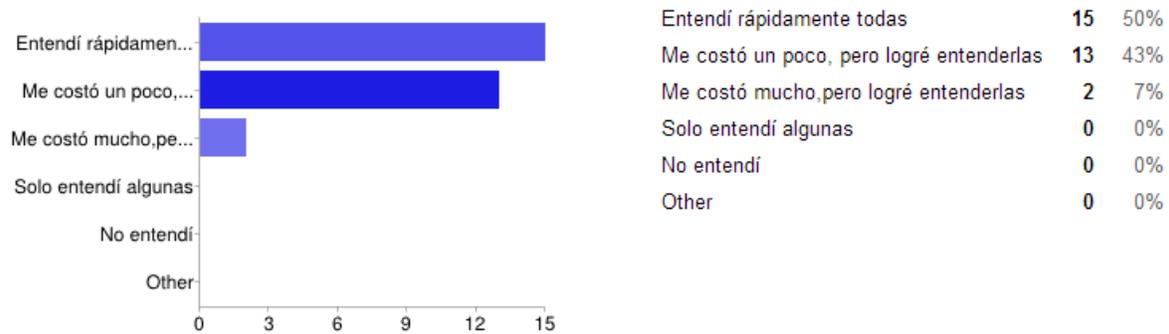


Figura 4.16 Facilidad de Uso

El 50% de los usuarios entendieron fácilmente las funcionalidades, mientras que un 43% les demandó poco esfuerzo y a un 7% le costó más entenderlas. Es decir, el 100% pudo entender las funcionalidades del sistema finalmente, haciéndolo rápidamente el 93%.

¿ Se realizó satisfactoriamente?

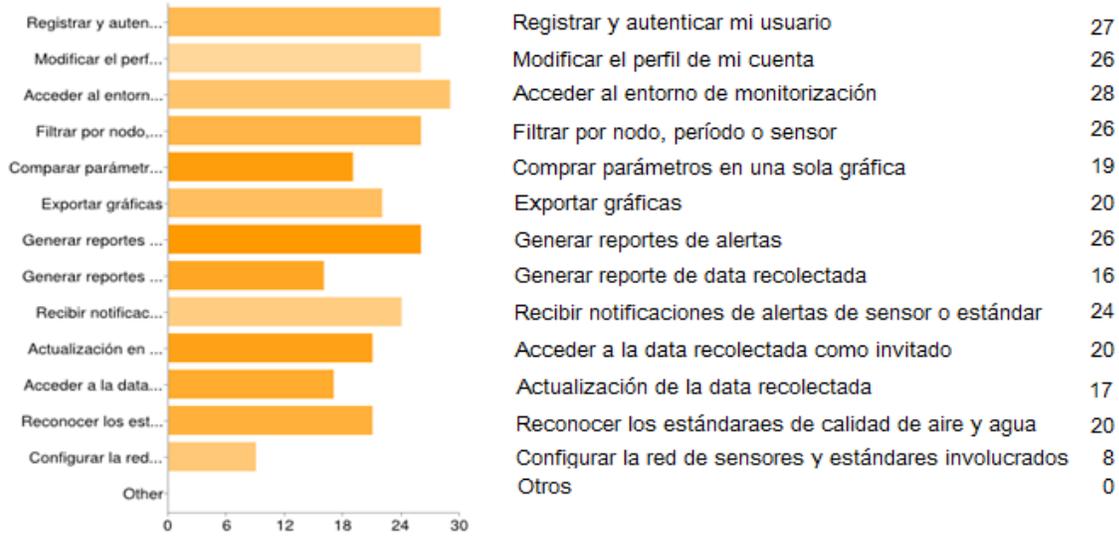


Figura 4.17 Funcionalidad de la plataforma

Las funcionalidades más usadas fueron el acceder a un entorno de monitorización, registrar y modificar cuenta, filtrado por período o sensor, generación de reportes de alertas. Todas se realizaron correctamente, siendo la funcionalidad de la plataforma del 85%.

Respecto a la respuesta de data requerida, se evidencia que la respuesta de la plataforma para realizar la tarea fue inmediata para un 23%, mientras que la respuesta tardó unos segundos afirmó el 67% de los usuarios.

Obtuviste respuesta rápidamente

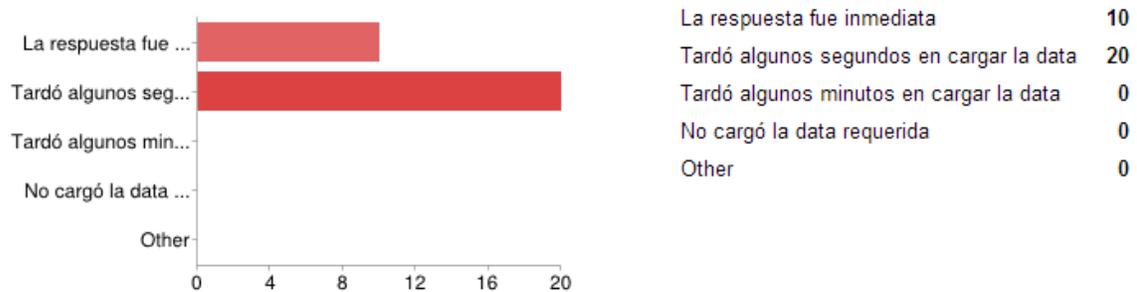


Figura 4.18 Tiempo de respuesta de la plataforma

Por último, luego de utilizar algunas funcionalidades de la plataforma, se cuestionó si consideran que la herramienta contribuirá con la gestión del medio ambiente. El 90% de los usuarios lo afirmaron.

¿Consideras que la plataforma desarrollada contribuirá con la gestión ambiental?

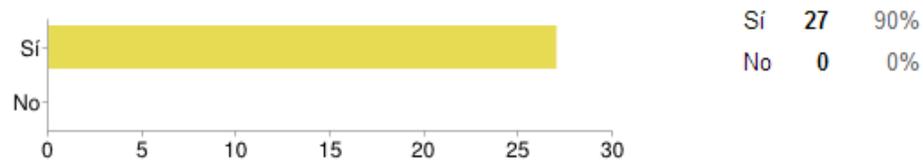


Figura 4.19 Utilidad de la plataforma



Conclusiones

La plataforma desarrollada:

- Monitorea el comportamiento periódico de la data recolectada y gestiona las redes de sensores desplegadas, evidenciado en la validación de utilidad del sistema, en la que los usuarios emplearon esta funcionalidad en un 85%.
- Soporta más de 20 usuarios en simultáneo, tal cual se observa en la gráfica 4.13 como resultado de las pruebas de estrés.
- Monitorea adecuadamente las redes de sensores y es de uso intuitivo mostrándose en una curva de aprendizaje mínima según la evaluación *Post Test* (confirmación por 80% de los usuarios experimentales).
- Permite, a través del procesamiento y difusión de los datos, identificar los niveles de contaminación del agua o del aire. El 90 % considera que la plataforma desarrollada contribuirá con la gestión ambiental.

Recomendaciones y trabajos futuros

- Dado el crecimiento en la acumulación de datos y la integración entre, cada vez más, redes de sensores y usuarios, se recomienda migrar hacia una base de datos NoSQL.
- Se hacen necesarios análisis a profundidad de estudios de campo en cuanto al desempeño de las bases de datos, respecto a la sincronización se recomienda el uso del protocolo DTN (*Delay-Tolerant Networking*).
- La escalabilidad de la solución debería considerar al número de usuarios simultáneos conectados al sistema, para ello se recomienda principalmente incrementar la cantidad de núcleos en éste.

Bibliografía

- [ITU-221] ITU-T. “Requirements for support of ubiquitous sensor network (USN) applications and services in the NGN environment” 01-2010
- [WSNT-IEA] HARA, Takahiro. “Wireless Sensor Network Technologies for the Information Explosion Era” Springer. 2010
- [SEVW-NTS] GÓMEZ, Carles y CABALLERO, José. “Sensors Everywhere Wireless Network Technologies and Solutions”. Fundación Vodafone. 2010
- [HBW-SN] Mohammad, Ilayas y Imad, Mahgoub. “Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems”. CRC PRESS 2005
- [WSN-NP] ZHENG, Juan y JAMALIPOUR, Abbas. “Wireless Sensor Networks A Networking Perspective” Wiley, 2009
- [WSN-TC] SOHRABY, Kazem. “Wireless Sensor Network, Technology, Protocols, and Applications”. Wiley-Interscience. 2007
- [DS-SWA] CHOI, Hoan-Suk. “Distributed semantic sensor web architecture”. IEEE. 2011
- [IBM-DBF] Sharma, Neera. “Database Fundamentals”. IBM. 2010
- [ELM-FDB] Elmasri.”Fundamentals of Database Systems” Pearson, sixth Edition. 2011
- [DBS-CON] SILBERSCHATZ, Abraham. “Database System Concepts”, sixth Edition. Mc Graw Hill. 2006

- [NAN-MON] YU, Misun. “NanoMon: A Flexible Sensor Network Monitoring Software”. Korea University of Science and Technology. 2007
- [CIN-VIE] HAKALA, Ismo. “CiNetView - Graphic Interface for Wireless Sensor Network Deployment and Monitoring”. Kokkola University Consortium Chydenius. 2010
- [WSN-MON] VAJSAR, Pavel. “Monitoring And Management System For Wireless Sensor Networks”. IEEE. 2011
- [SINA-ARCH] CHIEN-CHUNG, Shen. “Sensor Information Networking Architecture and Applications”. University of Delaware. 2011
- [C05-CAM] COMPENDIO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL PERUANA. Volumen 5. Ministerio del ambiente. 2010
- [GEO5] PNUMA. “GEO 5 – Perspectivas del Medio Ambiente Mundial”. 2012
- [MEP-UN] UNEP. “Measuring Progress Enviromental Goals & Gaps”. 2012
- [ES-MUNDO] EL MUNDO. “El mapa de la contaminación”. España
URL:http://www.elmundo.es/elmundosalud/documentos/2011/09/mapa_contaminacion.html. Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [UML-UPM] GRAU, Xavier. “Desarrollo Orientado a Objetos con UML” Universidad Politécnica de Madrid. 2010
- [RTO-UML] DUC, Bui. “Real-Time Object Uniform Design Methodology with UML”. Springer. 2007

- [LTS-UBW] UBUNTU. “Ubuntu wiki”. 2012
URL: <https://wiki.ubuntu.com/LTS>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [VOY-LIN] VOYAGE. “Voyage Linux”. 2012
URL: <https://wiki.ubuntu.com/LTS>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [HTTP-SP] APACHE PROJECT. “Apache Server”. 2012
URL: <https://wiki.ubuntu.com/LTS>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [NOV- NTC] NETCARFT. “November 2013 Web Server survey”
URL: <http://news.netcraft.com>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [PHP-556] PHP 5. “PHP5 Change Log”
URL: <http://www.php.net/ChangeLog-5.php#5.5.6>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [JQ-PLOT] JQPLOT. “Pure javascript plotting”
URL: <http://www.jqplot.com/>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [MSQL-FE] MYSQL. “MySQL Database Features”
URL: <http://www.mysql.com/>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013
- [GET-YII] YII FRAMEWORK. “Yii features”
URL: <http://www.yiiframework.com>
Última fecha de consulta: diciembre de 2013