

Inteligencia Ambiental y SIG: Una alternativa para monitorizar la Contaminación Atmosférica causada por la Refinería de Esmeraldas

Pablo Pico¹, Jorge Cabrera²

¹Laboratorio de Innovación y Tecnología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas (PUCESE), Ecuador, Ingeniería Computacional
picopabant@yahoo.com.mx

²División de Robótica y Oceanografía Computacional, SIANI, Universidad de las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), España
jcabrera@dis.ulpgc.es

Resumen. En el artículo se presentan aspectos relacionados con el diseño de una plataforma basada en la tecnología sensorial inalámbrica y los sistemas de información geográfica (SIG) para monitorizar desde una interfaz Web, de forma georeferenciada y en tiempo real, los principales parámetros de contaminación atmosférica producidos por la Refinería Estatal de Esmeraldas (REE). Se incluye además un análisis fundamentado en las métricas básicas que una red inalámbrica de sensores debe cumplir para optimizar los recursos energéticos de los nodos y asegurar la fiabilidad de la red durante la captura, procesamiento y transmisión de datos.

Palabras clave: Red Sensorial Inalámbrica, Nodo Sensorial, Sistema de Información Geográfica, Monitorización, Contaminación Atmosférica.

1 Introducción

La preservación y cuidado del Medioambiente se ha convertido en un tema de interés prioritario a nivel global. Muchos países han ratificado decretos y normativas en la que existe compromiso de cooperación para la conservación y protección de un legado natural que nos pertenece a todos, el Medioambiente. Pese a ello, su aplicación es muy cuestionada debido al papel limitado que desempeñan los organismos de control.

Ecuador, y específicamente Esmeraldas no son la excepción. Contar con un puerto marítimo en la costa del Pacífico, ha convertido a esta provincia en un punto estratégico para el asentamiento de la Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) desde 1972 [1]. Actualmente la planta industrial opera las 24 horas del día para captar el petróleo proveniente del oriente ecuatoriano a través del oleoducto de crudos pesados (OCP) y refinarlo para producir productos derivados (gasolina de 80 y 89 octanos, diesel 1 y 2, jet fuel, fuel oil, asfaltos y azufre) que sirvan para la exportación y consumo interno del país.

El crecimiento demográfico en la zona ha sido la principal causa de que actualmente la población conviva a diario con los gases tóxicos que la planta industrial libera a la atmósfera, causando un impacto negativo a la calidad del ambiente y del buen vivir de las personas de zonas próximas a la REE.

En este trabajo se fusionan las tecnologías de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para capturar, almacenar, procesar y visualizar datos georreferenciados obtenidos por medio de una Red Sensorial Inalámbrica (WSN) dotada de nodos sensores que monitoricen los principales gases de contaminación atmosférica (ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono) en un perímetro aproximado de 5 km entorno a la REE.

La aplicación SIG de monitorización se fundamenta en la metodología de la arquitectura en tres capas y el diseño de la WSN se ha logrado mediante la realización de un análisis de métricas que permitan alcanzar la optimización energética y la fiabilidad la plataforma.

2 Metodología

En septiembre del 2008, Ecuador se convirtió en el primer país a nivel mundial en incorporar a la Constitución de la República, el “derecho a la naturaleza” [2]. La Normativa de Emisiones al Aire desde fuentes fijas de combustión¹, del Libro VI, Anexo 4, define la Norma de Calidad del Aire, que constituye el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo [3]. Los contaminantes comunes del aire considerados en la normativa se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Contaminantes comunes del aire ambiente producidos por una refinería [3].

Contaminante	Máximo Permisible ² x Periodo
Partículas Sedimentables	1mg/cm ² x 30 días
Material Particulado de diámetro menor a 10 micrones (PM ₁₀)	50µg/m ³ x 1 año ó 150 µg/m ³ x 24 h
Material Particulado PM _{2.5}	15µg/m ³ x 1 año ó 65 µg/m ³ x 24 h
Óxidos de Nitrógeno (NO y NO ₂)	100 µg/m ³ x 1 año ó 150 µg/m ³ x 24 h
Dióxido de Azufre (SO ₂)	80 µg/m ³ x 1 año ó 350 µg/m ³ x 24 h
Monóxido de Carbono (CO)	10000 µg/m ³ x 8h ó 40000 µg/m ³ x 1 h
Oxidantes Fotoquímicos (Ozono)	160 µg/m ³ x 8h ó 120 µg/m ³ x 1 h

El escenario de monitorización, lo constituyen los barrios y sectores cercanos a la REE. Las condiciones meteorológicas

¹ La Normativa tiene como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades.

² Promedio aritmético de las muestras obtenidas en el periodo definido.

(temperatura, dirección y velocidad del viento) definen directamente las zonas afectadas por los gases contaminantes que la refinería, desde sus unidades de proceso (Destilación Atmosférica, Destilación al Vacío, Craqueo Catalítico, Hidrosulfuradora de Diesel, MEROX e Hidrotratadoras de Naftas) emiten a la atmósfera.

El hecho de que la Refinería Estatal de Esmeraldas se encuentre en el perímetro urbano, da origen a que la contaminación emitida por la planta industrial afecte no solo a quienes laboran en las instalaciones; sino también a los moradores de los barrios del sur debido a que el viento predomina en dirección norte/suroeste³. Cuando el régimen de viento varía, alcanza también la ciudad. La inclusión de un perímetro aproximado de 5 km entorno a la localización de la REE, abracaría los barrios: 15 de Marzo, 24 de Mayo, La Victoria, Codesa, La Propicia, La Tolita, La Concordia, Julio Estupiñán y la urbe de la ciudad esmeraldeña.



Fig. 1. Localización geográfica de la REE y sectores próximos a la planta industrial. Fuente: Google Maps.

Los lugares especificados, constituyen los principales puntos estratégicos donde se instalen los nodos sensoriales que midan las emisiones de gases contaminantes, según la escala temporal requerida. Los posibles niveles de ésta se muestran en la Tabla 2 y permitirán programar los nodos para que obtengan las muestras según la frecuencia requerida.

Tabla 2. Escala Temporal de Monitorización de Emisión de Gases en la REE.

Nivel	Descripción
Largo Plazo	Semanal
Mediano Plazo	Diario
Corto Plazo	3 Veces al Día
Inmediata	Cada 2 horas

³ Dato proporcionado por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Julio 2012.

3 Aspectos de diseño de la WSN

Los nodos que constituyen una red de sensores inalámbricos poseen características como: tamaño reducido, bajo consumo energético y coste; pero a la vez tienen limitaciones en cuestiones de capacidad de cómputo y almacenamiento en memoria. Esto implica que deben aplicarse métricas que permitan optimizar las comunicaciones entre nodos, de manera que ejecuten la menor cantidad de procesos. La cooperación que exista entre los nodos y la forma en que se encaminen los paquetes entre dispositivos ayudará al ahorro energético y la fiabilidad de la red.

3.1 Tipos de nodos

Definido el escenario (sectores localizados a menos de 5km entorno a la REE) y la escala temporal de monitorización, y posterior a un análisis de aspectos relacionados con las comunicaciones inalámbricas entre nodos sensoriales, se recomienda utilizar dispositivos que cumplan las restricciones de la siguiente figura.



Fig. 2. Características de un 1) nodo terminal y 2) de infraestructura del sistema propuesto.

La infraestructura de monitorización incluye dos tipos de nodos sensoriales, “nodos finales” y de “infraestructura”. En vista de que los gases contaminantes emitidos por la REE aumentan su impacto según las condiciones meteorológicas de la zona, se recomienda incorporar sensores que midan la temperatura ambiente y la dirección y velocidad del viento. Así se podrá analizar los niveles y la forma de expansión de los contaminantes en función de las condiciones climatológicas. Por

tanto, se dispondrá de nodos finales para medir gases y para medir condiciones climatológicas, diferenciándose entre sí por el tipo de sensores que integren.

3.2 Métricas de diseño

El hecho de que la REE sea una fuente fija de contaminación, invita a proponer que un grupo de nodos se instalen de forma fija (mantienen su geolocalización y tablas de enrutamiento estáticas con el paso del tiempo). Adicional a ello, se sugiere que se incorporen nodos que puedan ser movilizados a fin de incluir dentro del estudio otras zonas, según nuevos requerimientos o cambios climatológicos que se presenten. Considerando que en la zona, existe la disponibilidad de corriente alterna y señal para la conexión a la red telefónica móvil e Internet, las métricas que se adaptan a esta realidad se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3. Métricas de la Red Sensorial Inalámbrica.

Métrica	Descripción
Topología	Árbol
Área de cobertura	Red Área Metropolitana
Modelo de Comunicación	de Jerárquico
Carácter de Comunicaciones	Broadcast
Esquema de enrutamiento	de Enrutamiento jerárquico reactivo
Protocolo de Enrutamiento	de AODV ⁴ Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing

3.3 Arquitectura de la WSN

La arquitectura de una WSN depende principalmente de la extensión a monitorizar, lo que a su vez determina el número de nodos que se necesitan desplegar para cubrir el área. La Arquitectura Distribuida basada en grupos jerárquicos con carácter broadcast y el protocolo de enrutamiento AODV, solventa sin problema alguno, los requerimientos relacionados con la extensión del entorno a monitorizar y además soporta escalabilidad y movilidad de los nodos de la red [4].

Una de las características fundamentales de una arquitectura basada en el modelo de grupos es que los nodos colaboran en la consecución de una tarea común o se abastecen de flujos de datos comunes. Los elementos se organizan de manera que cada subgrupo (clúster) dispone de un nodo líder (clusterhead)

⁴ AODV, protocolo reactivo diseñado para comunicaciones de dispositivos móviles en modo ad-hoc. Incorpora el concepto de encaminamiento bajo demanda ya que solo se guarda información de los nodos que intervengan en la transmisión de datos, optimizando el tiempo de proceso, uso de memoria y el tráfico de control por la red.

que coordina las comunicaciones entre los elementos de su grupo. Además incorpora funcionalidades para comunicarse con nodos líderes de otros clústeres a fin de optimizar la transmisión de paquetes hacia el centro del control, lugar donde reside el servidor de base de datos para su respectivo almacenamiento, y su análisis a través del SIG de monitorización. A continuación se muestra el diagrama esquemático con la localización de los nodos en el escenario sujeto a estudio.

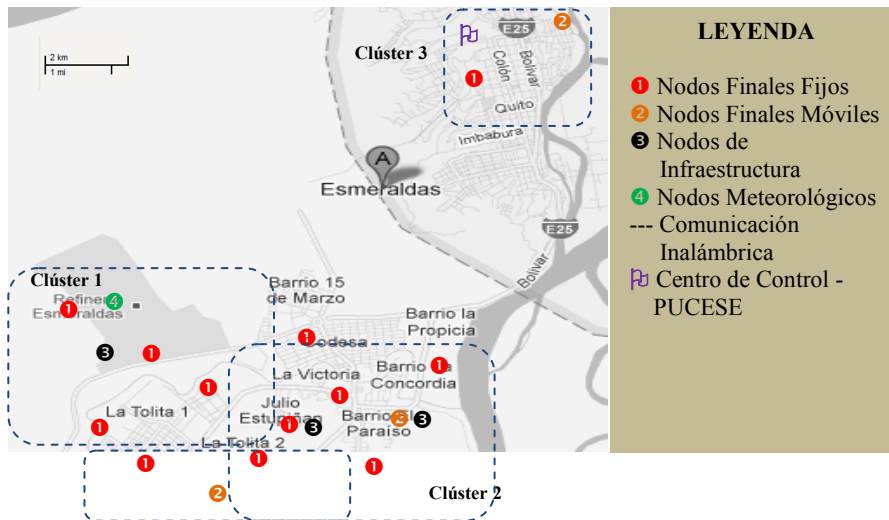


Fig. 3. Diagrama Esquemático de Ubicación de Nodos en el Entorno a Monitorizar.

4 SIGMAT

SIGMAT, Sistema de Información Geográfica de Monitorización Atmosférica, constituye una aplicación web mapping para la monitorización georeferenciada de gases contaminantes capturados por una WSN.

4.1 Funcionalidades

SIGMAT es un entorno web que posibilita la recepción, almacenamiento, consulta y despliegue de datos que muestran la evolución de la contaminación atmosférica en el escenario de monitorización definido. Incorpora también un subsistema de alerta que informa automáticamente en qué instantes se superan los límites permisibles de contaminación según la normativa actual de la Constitución ecuatoriana. Todo el proceso realizado de forma georeferenciada de manera que permita efectuar tareas de planificación y ejecutar planes de acción para establecer controles de forma oportuna.

4.2 Arquitectura

Por lo general, la incorporación de nuevas funcionalidades en una aplicación de software son necesarias poco tiempo después de su implementación. Cambios en las normativas o nuevas necesidades, exigen que la aplicación sea flexible en términos de escalabilidad. Por ello, SIGMAT es una aplicación diseñada con la metodología de la arquitectura en tres capas, de modo que se separe la capa de presentación, de la lógica y de datos. A continuación, la Figura 4 muestra las principales funciones de la aplicación y las herramientas recomendadas para el desarrollo de la misma.

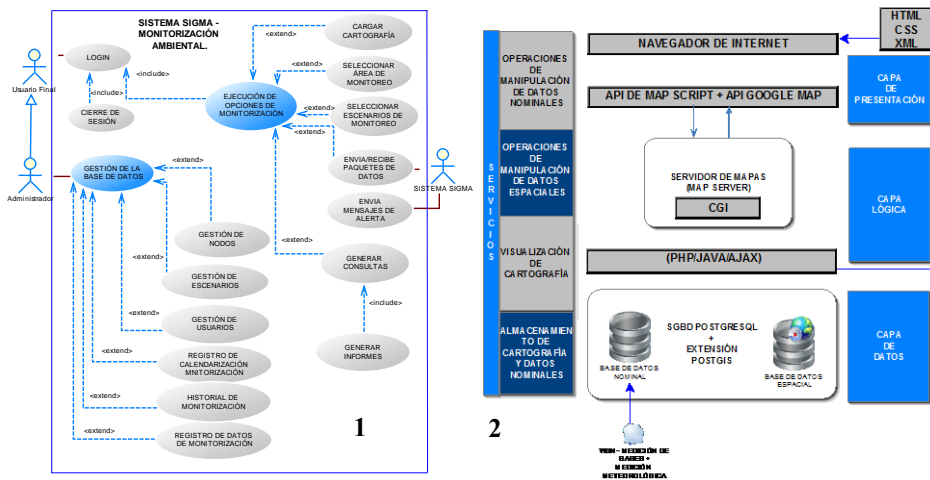


Fig. 4. 1) Casos de Uso y 2) Arquitectura de la Aplicación SIGMAT.

4.3 Modelo de Datos

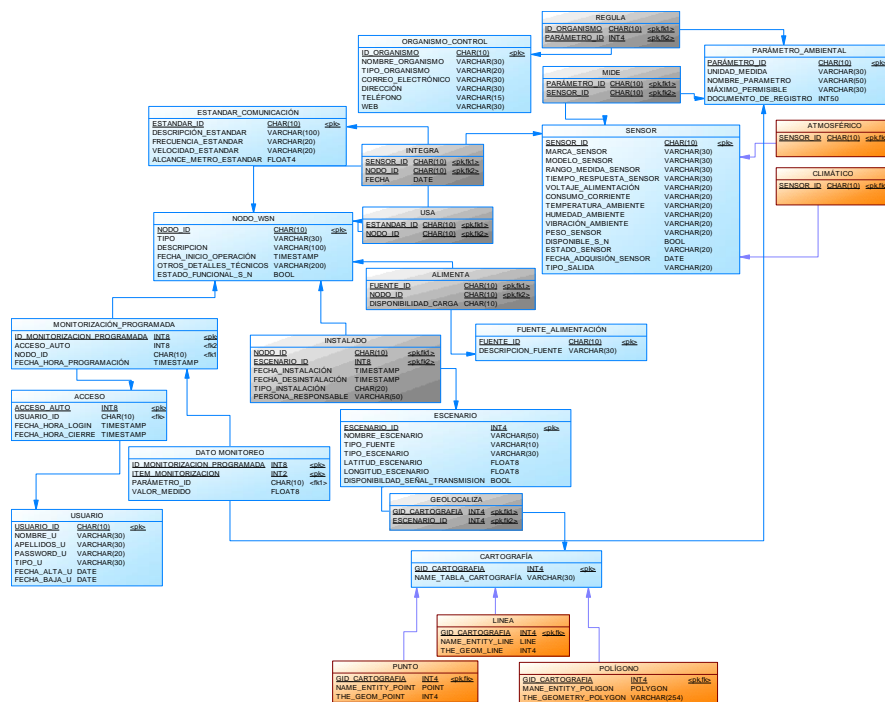


Fig. 5. Modelo Relacional de la Base de Datos de la Aplicación SIGMAT.

La figura anterior, muestra las estructuras necesarias que constituyen la base de datos de SIGMAT. El modelo está formado por una parte espacial que almacena la cartografía, y de una parte temática que permite el almacenamiento de la información nominal, que está relacionada con los elementos cartográficos, logrando que se desplieguen los datos y se generen reportes georreferenciados. El modelo utilizado para organizar la información en la base de datos es el Modelo Relacional. El sistema de gestión de base de datos libre que soporta estos requerimientos es PostgreSQL y su extensión PostGis.

5 Conclusiones

Las Redes Inalámbricas de Sensores, son hoy en día una tecnología de la Computación de alta aplicabilidad en Inteligencia Ambiental. Su naturaleza hace que los nodos sensores sean dispositivos que pueden ser empotrados en contextos de diversas características para medir parámetros ambientales de contaminación atmosférica en entornos industriales como lo es la Refinería Estatal de Esmeraldas y acceder a ellos mediante interfaces sencillas y usables en un modo natural.

La tecnología ZigBee, en conjunto con el estándar de comunicación inalámbrica IEEE802.15.4 y el protocolo de enrutamiento AODV, se adaptan perfectamente al entorno de la planta de operaciones de la REE y a los sectores sujetos a estudio, a fin de llevar a cabo la captura de datos y transmisión de los mismos, enfatizando en el ahorro energético que contribuya a perdurar la vida de los nodos y también en la tolerancia a fallos para ayudar a alcanzar la fiabilidad de la red.

Las tecnologías asociadas a los Sistemas de Información Geográfica se integran con múltiples ramas de la ciencia para facilitar tareas de planificación y toma de decisiones. La fusión con las Redes Inalámbricas de Sensores hace posible una infraestructura de monitorización georreferenciada de fácil uso y accesibles por múltiples usuarios desde cualquier lugar a través de la Web.

Bibliografía

1. Cervante F.: Sistema de Gestión Ambiental para los Desechos Peligrosos de la Refinería Estatal de Esmeraldas, Escuela Politécnica Nacional, 2009
2. Mychaley C.: Ecuador's Constitution Gives Rights to Nature, Upside Down World (2008)
3. Libro VI, Anexo 4, de septiembre 2008 de la Presidencia de la República del Ecuador, relativa a la Norma de Calidad del Aire Ambiente
4. Pico P.: Infraestructura Polivalente basada en Sensores Inalámbricos aplicada a la Monitorización Medioambiental Georreferenciada, Trabajo de Fin de Máster, SIANI Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2012