

Publicación de los contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo en tiempo real de la ciudad de Cuenca, utilizando servicios estándares OGC

Maestría en Geomática con mención en Ordenamiento Territorial

Autor: Ing. Chester Andrew Sellers

Director: Msc. Omar Delgado **Co-Director:** Phd. Daniela Ballari

Cuenca, Ecuador

2013

~ I		• •
\al	lers,	Ш
JUI	icio,	

DEDICATORIA

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste.

A mi Padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis directores el Msc. Omar Delgado y la Phd. Daniela Ballari, por su paciencia, por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis, y principalmente por la amistad sincera que me fue brindada.

Agradezco a mis profesores, especialmente a Msc Sebastián Izquierdo, amigos de la maestría, amigos del IERSE personas que marcaron cada etapa de este camino, y que me ayudaron con asesorías y dudas presentadas durante la elaboración de esta tesis maestral.

Agradezco a mis amigos en especial a David Pazos y Elizabeth Ordoñez por su apoyo incondicional, por los ánimos y fuerzas transmitidas para culminar esta etapa de formación profesional y a todos aquellos amigos que de una u otra forma me apoyaron en esta etapa de mi vida.

Agradezco de forma muy especial al Ing. Diego Pacheco, profesional y amigo, ya que fue un apoyo constante durante nuestros estudios y durante la ejecución de esta tesis, gracias amigo.

RESUMEN

La contaminación del aire ambiente es una constante amenaza para la salud humana y el ambiente per se, por lo que se requiere de la definición de políticas y de la toma de decisiones respecto a la prevención, control y mitigación de los impactos de la contaminación. Para tal fin se implementan y despliegan redes de sensores que miden el estado del entorno en el que vivimos. El GAD Municipal del cantón Cuenca, y en particular la Empresa Municipal de Movilidad Transito y Trasporte (EMOV-EP), dispone de una estación de monitoreo continuo de agentes contaminantes atmosféricos.

En este trabajo de tesis se describe el registro, procesamiento y publicación de datos correspondientes a los agentes contaminantes aéreos registrados en esta estación, mediante la utilización de servicios estándar SOS (Sensor Observation Service), para proporcionar el acceso estructurado a la información que se registra. Para ello se utilizan estándares normalizados que permitan procesos de integración de datos, tanto para la visualización web, como para su consumo vía peticiones. Esta tesis ayuda a superar limitaciones actuales del sistema de monitoreo relacionadas con la publicación de la información capturada, siendo actualmente publicada únicamente en medios impresos y almacenada de forma local. Los resultados se presentan en una plataforma base para la gestión, monitoreo y publicación de los contaminantes atmosféricos de la ciudad, además del índice general de calidad ambiental ICAG, también se genera y publica gráficas estadísticas del comportamiento de la variable contaminante en un periodo de tiempo determinado.

Esta plataforma presenta el potencial de convertirse en una verdadera herramienta para la gestión ambiental y la toma de decisiones a nivel político y ambiental que aseguren el buen vivir de los cuencanos.

PALABRAS CLAVE

Contaminantes atmosféricos Cuenca, Sensor Observation Service, Sensor Web Enablement Service, Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Tulas), Agencia de Protección ambiental (EPA), Contaminación del Aire.

Sellers, 5

ABSTRACT

Air pollution is a constant threat to human health and the environment per se, requiring decisions regarding prevention, control and mitigation of the impacts of pollution. For this purpose, we require the implementation and deployment of sensor networks that measure the state of the environment in which we live. The Municipal decentralized autonomic government of Cuenca, and in particular the Municipal Transit Mobility and Transport Company (EMOV-EP), has a continuous monitoring station of air pollutants.

This thesis describes the recording, processing and publication of data for air pollutants observed at this station, its intended by the use of SOS (Sensor Observation Service) standard services, to provide structured access to information that is recorded. This will use normalized standards that enable data integration, both for web viewing as for consumption via requests. This monitoring system, however, has limitations related to the publication of the information captured and is currently published only in printed versions and information is stored locally.

The use of normalized standards allows general index calculations for air quality and data integration. The results are presented in a base platform for the management, monitoring and publication of air pollutants in the city, in addition to the overall environmental quality index, also generates and publishes statistical graphs of contaminant variable behavior over a period of given time.

This platform has the potential to become a real tool for environmental management and decision-making at the political level to ensure environmental and good living of people of Cuenca.

KEYWORDS

Atmospheric contaminants Cuenca, Sensor observation service, sensor enablement service, Unified Text of the Secondary Environmental Legislation (Tulas), Environmental Protection Agency (EPA), air contamination.

(Gaughi Fedas

DPTO. IDIOMAS

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
PALABRAS CLAVE	iv
ABSTRACT	v
KEYWORDS	vi
INDICE DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS	viii
INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS	x
1. INTRODUCCIÓN	11
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. Características fundamentales de las observaciones	14
2.1.1. Propiedades de las observaciones	14
2.1.2. El contexto de las observaciones	15
2.2. La Atmósfera Terrestre	15
2.2.1 Composición de la atmósfera terrestre	15
2.2.2 Capas de la atmósfera	16
2.2.2.1 Troposfera	17
2.2.2.2 Estratosfera	18
2.2.2.3 Mesosfera	18
2.2.2.4 Termosfera	19
2.2.2.5 Exosfera	20
2.3 Contaminación Atmosférica	20
2.3.1 Fuentes Contaminantes	21
2.3.1.1 Fuentes Contaminantes de origen artificial	21
2.3.1.1.1 Fuentes fijas	21
2.3.1.1.2 Fuentes móviles	21
2.3.1.2 Fuentes Contaminantes de origen natural	21
2.3.2 Principales contaminantes atmosféricos	22

2.3	3.2.1 El monóxido de carbono (CO)	22
2.3	3.2.2 El dióxido de nitrógeno (NO2)	22
2.3	3.2.3 El ozono (O ₃)	23
2.3	3.2.4 El dióxido de azufre (SO ₂)	24
2.3	3.2.5 El material particulado (PM)	24
2.3	3.3 Principales efectos sobre la salud	25
2.3	3.3.1 Monóxido de Carbono (CO)	25
2.3	3.3.2 Dióxido de Nitrógeno (NO ₂).	25
2.3	3.3.3 El ozono (O₃)	26
2.3	3.3.4 Dióxido de Azufre (SO ₂)	27
2.3	3.3.5 Material Particulado (PM)	27
2.3	3.4 Principales efectos sobre el ambiente	28
2.3	3.4.1 Monóxido de Carbono (CO)	28
2.3	3.4.2 Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	29
2.3	3.4.3 Ozono (O₃)	30
2.3	3.4.4 Dióxido de Azufre (SO ₂)	30
2.3	3.4.5 Material Particulado (PM _{2.5})	31
2.4	Normativa Aplicada	32
2.4	4.1 Normativa Legal Ecuatoriana	32
2.4	4.2 Legislación Ambiental del Ecuador	32
2.4	4.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (TULAS)	33
atr	4.4 Normativa Vigente para la publicación de índices de contaminación mosférica de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de N mérica (EPA).	
2.5	Open Geospatial Consortium (OGC)	34
2.6	Sensor Web Enablement (SWE)	35
2.7	Sensor Observation Service (SOS)	36
3. MÉ	ÉTODOS	38
Etapa	oa I. Captura y almacenamiento de los datos registrados por la estación MUN	40
•	oa II Establecimiento de comunicación y rutinas de transferencia de datos, inserc	
	egistros en el servidor local UDA	
Etapa	pa III Procesamiento de la información	44

	Etapa IV Implementación de los paquetes de software open source para la habilitación servicio SOS y cliente web	
	ETAPA V Pruebas de fiabilidad y funcionamiento.	
4.	. RESULTADOS Y DISCUSION	51
5	. CONCLUSIONES	58
6	. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
7	. ANEXOS	62

INDICE DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

Abreviatura / Símbolo	Descripción
AVG	Promedio
BP _{Hi}	Punto de ruptura mayor o igual a Cp
BP _{Lo}	Punto de ruptura menor o igual a Cp
C°	Grados Celsius
Сс	Concentración corregida
CFCs	Compuestos clorofluorocarbonados
CGA	Comisión de Gestión Ambiental
CH ₄	Metano
CO	Monóxido de Carbono
Со	Concentración observada
СОНВ	Carboxihemoglobina
CONAGE	Consejo Nacional de Geoinformación
Ср	Concentración del contaminante
CVS	Archivo de valores separados por comas
EMOV-EP	Empresa Municipal de Movilidad Transito y Trasporte de la ciudad de Cuenca
EPA	Agencia de protección ambiental de los EEUU
FOI	Objeto de interés
GAD	Gobierno autónomo descentralizado
GLP	Gas licuado de petróleo
GRASS	Acrónimo en inglés de Geographic Resources Analysis Support System
HNO3	Ácido nítrico
ICA	Índice de calidad del aire.
I _{Hi}	Valor del ICA correspondiente a BPHi
I _{Lo}	Valor del ICA correspondiente a BPLo
K	Grados Kelvin
Km	Kilómetros

Abreviatura / Símbolo	Descripción
Km2	Kilómetros cuadrados
m	Metros
MAX	Máximo
MIN	Mínimo
Mm	Milímetros
mmHg	Milímetros de mercurio
MUN	Municipio
NO	Óxido de nitrógeno
NO2	Dióxido de nitrógeno
NOx	Complejo de óxidos de nitrógeno
0	Oxígeno
O & M	Observations and measurements
O3	Ozono
OGC	Open geospatial consortium
ОН	Grupo hidróxilo
OMS	Organización mundial de la salud
Pbl	Presión barométrica local
PM	Material particulado
PM 10	Material particulado superior a 10 micras
PM 2.5	Material particulado inferior a 2,5 micras
PPB	Partes por billón
PPM	Partes por millón
SO2	Dióxido de azufre
SOS	Sensor observation service
SQL	Structured query language
SWE	Sensor web enablement
Т	Temperatura
Ton	Toneladas
TULAS	Texto unificado de legislación secundaria ambiental
UDA	Universidad del Azuay
ug/m3	Unidades en microgramos por metro cubico
UML	Lenguaje unificado de modelado
VOCs / COVs	Compuestos orgánicos volátiles
WCS	Web coverage service
WFS	Web feature service
WMS	Web map service

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

Ilustración 1 Esquema Desarrollo Marco Teórico	13
Ilustración 2 Conformación de capas de la atmósfera terrestre	17
Ilustración 3 Troposfera terrestre	17
Ilustración 4 Estratosfera Terrestre	18
Ilustración 5 Mesosfera Terrestre	18
Ilustración 6 Termosfera Terrestre	19
Ilustración 7 Localización de Ionosfera	19
Ilustración 8 Exosfera Terrestre	20
Ilustración 9Concepto General SWE	36
Ilustración 10 Esquema funcional SOS	37
Ilustración 11 Alcance Nominal Estación	39
Ilustración 12 Datos registrados formato RAW	40
Ilustración 13 Esquema UML general de la base de datos en conformidad con la especific	ación
SOS Fuente:(52°North SOS data models, n.d.)	42
Ilustración 14 Esquema de la base de datos	43
Ilustración 15 insertar registros históricos en base de datos: a) Código para SQL; b) Descrip	ción
parámetros INSERT; c) Parámetros SQL INSERT	44
Ilustración 16 Codificación rangos ICA	49
Ilustración 17 Consideraciones a tomar ICA general	49
Ilustración 18 Arquitectura genérica propuesta cliente SOS	51
Ilustración 19 Plataforma base de monitoreo	52
Ilustración 20 Gráfica estadística comportamiento O3	53
Ilustración 21 Valores consultados O3	53
Ilustración 22 Ejemplo consulta rango de fechas	54
Ilustración 23 Consulta implicaciones para la salud	54
Ilustración 24 Gráfico estadístico comportamiento diario	55
Ilustración 25 Gráfico estadístico comportamiento mensual	56
Tabla 1 Componentes de la atmósfera terrestre	16
Tabla 2 Elementos Monitoreados Estación Tiempo Real "MUN"	38
Tabla 3 Etapas Metodológicas	39
Tabla 4 Elementos y unidad de medida registrados	40
Tabla 5 Máximos, mínimos y promedio de las mediciones	46
Tabla 6 Clasificación rango de valores contaminantes EPA	47
Tabla 7 Resultado cálculo Índice Ejemplo	48
Formula 1 Corrección valores contaminantes	
Formula 2 Ejemplo de aplicación de la corrección valores contaminantes	
Formula 3 Formula general cálculo ICA	
Formula 4 Eiemplo Calculo ICA	48

Chester Andrew Sellers Walden

Trabajo de graduación

Omar Delgado

Junio, 2013

Publicación de los contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo en tiempo real de la ciudad de Cuenca, utilizando servicios estándares OGC

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire ambiente es una constante amenaza para la salud humana y el ambiente per se. Los avances científicos, tecnológicos e investigaciones realizadas mediante el monitoreo ambiental demuestran relaciones de respuestas cada vez más rápidas entre el estado de la calidad del aire y la salud humana y ambiental, así como el equilibrio entre sus variables (Brunekreef & Holgate, 2002). Las afecciones que se presentan sobre varios sistemas vitales de los seres humanos y ecosistemas expuestos a una constante contaminación del aire, tienen un costo psicológico, fisiológico y económico que asumen las sociedades y que tiene un constante y notable incremento en nuestro país y especialmente en Cuenca, cuyo centro urbano ha sido declarado Patrimonio Cultural de Humanidad el 12 de marzo 2009.

Esta realidad ha conducido a tomar decisiones urgentes de prevención, control y mitigación de los impactos de la contaminación. Razón por la cual somos testigos de la implementación y despliegue de redes de sensores que miden el estado del entorno en el que vivimos. Estos sensores aportan grandes volúmenes de datos en formatos, escalas y unidades de medida diferentes. Los sensores observan información de diversa índole y naturaleza, desde datos meteorológicos, concentraciones de elementos contaminantes, mediciones de radiación entre otros.; relacionados a las actividades humanas como el transporte, la industria o también a fenómenos que se dan en la naturaleza como la influencia de la radiación solar, inclusive de eventos sinérgicos resultado de la interacción de nuestras actividades con fenómenos naturales (Agency & Division, 2009; Brunekreef & Holgate, 2002; Open Geospatial Consortium, 2012).

En nuestra ciudad se realiza el monitoreo de la calidad del aire desde el año 2005 mediante sensores pasivos. La Empresa Municipal de Movilidad Transito y Trasporte de la ciudad de Cuenca (EMOV-EP) en la actualidad dispone de una estación de monitoreo continuo en tiempo real con sensores dedicados a medir agentes contaminantes atmosféricos. La estación está equipada para registrar, a intervalos de 1 segundo, varios elementos contaminantes atmosféricos. Entre estos constan cinco elementos principales aportantes a la contaminación atmosférica: Ozono (O₃),Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Material Particulado 2,5µm (PM_{2.5}). Sin embargo, a pesar de disponer de este sistema de monitoreo se han detectado limitaciones relacionadas con la publicación de la información capturada. Primero, la información capturada por los sensores ha sido publicada únicamente en medios impresos, pero no en medios digitales, lo que ha limitado su interpretación en tiempo real y análisis temporal. Segundo, la información registrada es almacenada en un repositorio de datos CSV y XLSX, es decir información tipo texto, y al momento no existe un procedimiento para la publicación en la web de esta información.

El presente tema de tesis desarrolla un mecanismo para explotar la información registrada en la estación de monitoreo continuo de agentes contaminantes atmosféricos para beneficio de autoridades locales, técnicos y la sociedad civil en general, a través del tratamiento de datos y difusión de la información en la web, además de presentar esta información a la comunidad por medios que sean de fácil acceso, fácil comprensión y de provecho para la sociedad en común.

El documento se organiza de la siguiente manera: Se presenta el marco teórico y luego los métodos a través de los pasos necesarios para emplazar el sistema de comunicaciones entre la EMOV-EP y la UDA para el consumo de datos de la estación de monitoreo, la sistematización de los datos, creación de la geodatabase, preparación de la codificación/programación necesaria para el tratamiento de los datos RAW, los procesos necesarios para la creación de los índices de calidad ambiental, implementación del cliente para la publicación web, y como etapa final la publicación web como tal, donde se logrará la liberación de la información para el acceso de la sociedad en común. Finalmente se detallan, discuten los resultados principales y se presentan las conclusiones finales.

2. MARCO TEÓRICO

El marco teórico describe los conceptos, definiciones que han sido necesarias revisar para un adecuado desarrollo de la tesis y para obtener una visión general de todos los elementos involucrados y su importancia para la sociedad. Ellos son: las características fundamentales de las observaciones, la atmósfera terrestre, contaminación atmosférica y la normativa legal.

Esquema para el desarrollo del marco teórico.

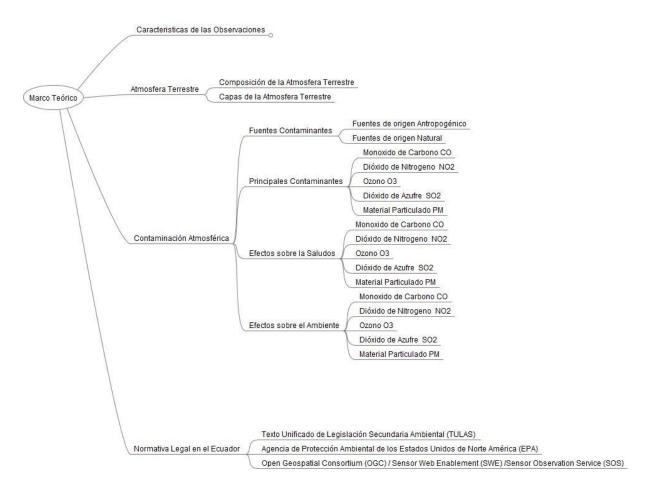


Ilustración 1.- Esquema Desarrollo Marco Teórico

2.1. Características fundamentales de las observaciones.

Que es una Observación .- Una observación es un acto relacionado con un instante de tiempo discreto o el período por el cual un número, duración u otro símbolo se le asigna a un fenómeno. Es la aplicación de un procedimiento específico, tales como sensor, instrumento, algoritmo o cadena de procesos que se puede aplicar in situ o de forma remota a una ubicación de muestreo. El resultado de una observación es una estimación del valor de una propiedad (Ejemplo: concentración de 25.2 ug/m3) de algunas características (Ejemplo: Ozono, monóxido de carbono). El uso de un modelo común de datos permite que observaciones, realizadas usando diferentes procedimientos, puedan ser combinadas sin ambigüedades (O & M. Cox, 2010).

2.1.1. Propiedades de las observaciones

Como se mencionó una observación es el resultado de asignar un valor a un fenómeno. El fenómeno es una característica de un objeto, siendo esto la particularidad de interés de la observación. La observación utiliza un procedimiento, que menudo es un instrumento o sensor (Chrisman, N. 2001), pero puede ser una cadena de procesos, observador humano, un algoritmo, un cálculo o un simulador. La idea clave es que el resultado de la observación es una estimación del valor de alguna propiedad de la característica de interés, y las otras propiedades de la observación (por ejemplo localización, fecha, sensor utilizado), que proporcionan un contexto y metadatos para apoyar la evaluación, interpretación y uso de los resultados.

Para una lectura más pormenorizada de los aspectos relacionados a las observaciones podemos referirnos al documento (O & M. Cox, 2010).

2.1.2. El contexto de las observaciones

Dentro de las propiedades de una observación se pueden distinguir dos categorías básicas:

- Valor asignado por alguna autoridad (por ejemplo, nombre, precio, límite legal). Estos atributos son de carácter exacto.
- Valor obtenido por la aplicación de un procedimiento de observación (por ejemplo, altura, clasificación, color). Estas son estimaciones, con un error finito asociado al valor observado.

El error de observación tiene típicamente un componente sistemático, que es similar para todas las estimaciones realizadas utilizando el mismo procedimiento, y un componente aleatorio, asociado a la instancia de la aplicación particular del procedimiento de la observación. Si los errores potenciales en un valor de propiedad son importantes en el contexto de un análisis o procesamiento de la solicitud de datos, entonces no se requieren los detalles del acto de la observación que proporciona la estimación del valor (S. Cox, 2011; North & Ifgi, 2012).

2.2. La Atmósfera Terrestre

La atmósfera terrestre es la parte gaseosa de la Tierra, siendo por esto la capa más externa y menos densa del planeta. Está constituida por varios gases que varían en cantidad según la presión a diversas alturas. Esta mezcla de gases que forma la atmósfera recibe genéricamente el nombre de aire. El 75% de masa atmosférica se encuentra en los primeros 11 km de altura, desde la superficie del mar ("Atmosphere of Earth - Wikipedia, the free encyclopedia,").

2.2.1 Composición de la atmósfera terrestre

La composición gaseosa de la atmósfera ha ido cambiando gradualmente a lo largo de millones de años en la misma medida que ha evolucionado la geografía terrestre. En la actualidad, tres gases, el nitrógeno, el oxígeno y el argón, constituyen el 99,95 % del volumen atmosférico (Goddard Space Flight Center, n.d.; Williams, 2004). La tabla 1 muestra la composición atmosférica.

Gas	Volumen
nitrógeno (N2)	780.840 ppmv (78,084%)
oxígeno (O2)	209.460 ppmv (20,946%)
argón (Ar)	9.340 ppmv (0,9340%)
dióxido de carbono (CO2)	387 ppmv (0,0387%)
neón (Ne)	18,18 ppmv (0,001818%)
helio (He)	5,24 ppmv (0,000524%)
metano (CH4)	1,79 ppmv (0,000179%)
kriptón (Kr)	1,14 ppmv (0.000114%)
hidrógeno (H2)	0,55 ppmv (0,000055%)
óxido nitroso (N2O)	0,3 ppmv (0,00003%)
xenón (Xe)	0,09 ppmv (9x10 ⁻⁶ %)
ozono (O3)	0,0 - 0,07 ppmv (0% a 7x10 ⁻⁶ %)
dióxido de nitrógeno (NO2)	0,02 ppmv (2x10 ⁻⁶ %)
yodo (I)	0,01 ppmv (1x10 ⁻⁶ %)
monóxido de carbono (CO)	0,1 ppmv
amoniaco (NH3)	trazas

Tabla 1.- Componentes de la atmósfera terrestre

Fuentes: ("Atmosphere of Earth - Wikipedia, the free encyclopedia,")

2.2.2 Capas de la atmósfera

La atmósfera terrestre se encuentra constituida por cinco capas: La troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y la exosfera, a continuación se describen estas capas según un orden establecido, desde la capa más cercana a la tierra a la más alejada del suelo.

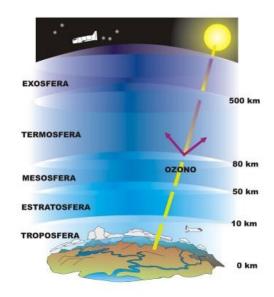


Ilustración 2.- Conformación de capas de la atmósfera terrestre

2.2.2.1 Troposfera



Ilustración 3. - Troposfera terrestre

La troposfera es la capa inferior (más próxima a la superficie terrestre) de la atmósfera de la Tierra. A medida que aumenta la altura, disminuye la temperatura en la troposfera. En la troposfera suceden los fenómenos que componen lo que llamamos tiempo meteorológico, o simplemente tiempo (Wikimedia Foundation, n.d.-a; Windows to the Universe, n.d.-a), en esta capa es donde se presentan y analizan las observaciones de esta tesis.

2.2.2.2 Estratosfera



Ilustración 4.- Estratosfera Terrestre

La estratosfera es la segunda capa de la atmósfera de la Tierra. A medida que se sube, la temperatura en la estratosfera aumenta, al contrario de la troposfera. En esta capa, el ozono provoca que la temperatura suba ya que absorbe la luz peligrosa del sol y la convierte en calor, (Goddard Space Flight Center, n.d.; Wikimedia Foundation, n.d.-a; Windows to the Universe, n.d.-b)

2.2.2.3 Mesosfera



Ilustración 5.- Mesosfera Terrestre

La mesosfera es la tercera capa de la atmósfera de la Tierra. La temperatura disminuye a medida que se sube, como sucede en la troposfera.

Puede llegar a ser hasta de -90° C. Es la zona más fría de la atmósfera. La mesosfera empieza después de la estratosfera. A veces, se puede distinguir la mesosfera en la orilla de un planeta, como una banda de coloración azul al borde del planeta, (Goddard Space Flight Center, n.d.; Wikimedia Foundation, n.d.-a; Windows to the Universe, n.d.-c).

2.2.2.4 Termosfera



Ilustración 6.- Termosfera Terrestre

La termosfera es la cuarta capa de la atmósfera de la Tierra. Se encuentra por encima de la mesosfera.

A esta altura, el aire es muy tenue y la temperatura cambia con la actividad solar. Si el sol está activo, las temperaturas en la termosfera pueden llegar a 1,500° C. A esta altura es donde los trasbordadores espaciales giran alrededor de la Tierra (Windows to the Universe, n.d.-d). La termosfera de la Tierra también incluye la región llamada ionosfera. ("lonosphere Constituents,")

La ionosfera o ionósfera es la parte de la atmósfera terrestre ionizada permanentemente debido a la fotoionización que provoca la radiación solar. Se sitúa entre la mesosfera y la exosfera, y en promedio se extiende aproximadamente entre los 80 km y los 500 km de altitud, aunque los límites inferior y superior varían según autores. ("lonosphere - Wikipedia, the free encyclopedia,")

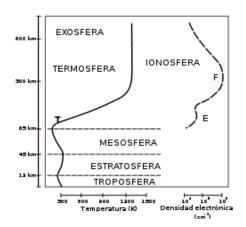


Ilustración 7.- Localización de Ionosfera

Fuente: ("Ionosphere - Wikipedia, the free encyclopedia,".)

2.2.2.5 Exosfera



Ilustración 8.- Exosfera Terrestre

La última capa de la atmósfera de la Tierra es la exosfera, esta es el área donde los átomos se escapan hacia el espacio. En la imagen de la exosfera podemos ver la Tierra, su atmósfera (probablemente las nubes sean de la troposfera y de la estratosfera), el borde del planeta (la curva azul oscuro y la orilla que corresponden a la mesosfera y la termosfera), todo eso terminado por la exosfera (del azul más oscuro tornando a color negro) que se continúa hacia el espacio exterior (Ahmad, Leptoukh, Johnson, Farley, & Kempler, 2007; Wikimedia Foundation, n.d.-a; Windows to the Universe, n.d.-f).

2.3 Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos dañinos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inofensivas. Por tanto, se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran la calidad del mismo, de modo que implique riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (Office of Air Quality Planning & Standards Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS). Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes. Igualmente, algunas industrias emiten gases nocivos en sus procesos productivos, como cloro o hidrocarburos que no han realizado un ciclo de combustión completa.

La contaminación atmosférica puede tener carácter local, cuando los efectos ligados al foco se sufren en las inmediaciones del mismo. Puede darse el caso que una fuente local afecte zonas alejadas de los entes emisores. Pero también puede darse con carácter

planetario, cuando las características del contaminante, afectan el equilibrio del planeta ("Contaminación atmosférica - Wikipedia, la enciclopedia libre,", "La Contaminación Atmosférica II,").

2.3.1 Fuentes Contaminantes

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las fuentes antropogénicas o artificiales y las naturales. La primera se refiere a las actividades humanas.

2.3.1.1 Fuentes Contaminantes de origen artificial

Esta fuente de contaminación está directamente relacionada a las actividades antropogénicas o de intervención humana, y se pueden diferenciar en dos tipos:

- **2.3.1.1.1 Fuentes fijas.-** Es toda instalación establecida en un solo lugar y que tiene como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generan o pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Incluyen a los sectores: químico, petrolero, pinturas y tintas, de automóviles, del acero, del vidrio, de la generación de la electricidad, del cemento, canteras, entre otros.
- 2.3.1.1.2 Fuentes móviles.- Se consideran los vehículos automotores que circulan por carretera, automóviles, camiones, autobuses, motocicletas y equipos pesados. Las emisiones más comunes de los vehículos automotores son del tubo de escape, las emisiones en forma de vapor provenientes de las fugas del combustible que ocurren cuando está operando el motor, las emisiones del tanque del combustible del vehículo por el aumento de la temperatura ambiente, desplazamiento de materiales debido a la rodadura del vehículo, ruido por fricción con la capa de rodamiento, entre otros.

2.3.1.2 Fuentes Contaminantes de origen natural

Aquí las fuentes que contaminan son independientes de las actividades humanas, como los vientos que producen polvaredas, las erupciones volcánicas, la erosión del suelo, los incendios forestales, y descomposición de materia orgánica en el suelo y en los océanos.

2.3.2 Principales contaminantes atmosféricos

Los principales contaminantes atmosféricos son: el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, el ozono, el dióxido de azufre y el material particulado, contaminantes que serán descritos en los párrafos a continuación.

2.3.2.1 El monóxido de carbono (CO).- Es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico, cuya nomenclatura química es CO. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce por la combustión incompleta de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera. La mayoría de las emisiones de CO al ambiente provienen de fuentes móviles. El CO pude causar daños a la salud por medio de la reducción de oxígeno en la sangre y órganos como el corazón y el cerebro (Agency & Division, 2009; Ahmad et al., 2007; Brunekreef & Holgate, 2002; Finlayson-pitts & Pitts, 2000; VI, n.d.)

2.3.2.2 El dióxido de nitrógeno (NO2).- Es un agente sumamente oxidante altamente reactivo, soluble en agua, de color café-rojizo, gaseoso, que se forma como subproducto en la combustión en altas temperaturas, como en motores de vehículos, en plantas industriales, gasolina, diésel, el carbón y otros combustibles. Se forma en la atmósfera por la combinación directa del monóxido de nitrógeno también generado en la combustión de los motores y las plantas eléctricas. La formación de NO2 en la atmósfera resulta de la oxidación del óxido de nitrógeno (NO), generado en los cilindros de los motores de combustión interna por combinación directa de nitrógeno y oxígeno.

La mayor fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno es el uso de combustibles fósiles por fuentes fijas y móviles, aunque también se producen óxidos de nitrógeno durante la fabricación de ácido nítrico, el uso de explosivos, uso de gas licuado de petróleo (GLP).

Los óxidos de nitrógeno también se generan de manera natural por actividad bacteriana, volcánica, y por descargas eléctricas atmosféricas; sin embargo, la cantidad generada es baja en comparación con las emisiones de origen antropogénico. La permanencia media del dióxido de nitrógeno en la atmósfera es de alrededor de un día.

Es una de las principales causas del smog y la lluvia ácida. Estos se producen por la reacción de los óxidos de nitrógeno con compuestos orgánicos volátiles (COV). Adicionalmente contribuye de manera significante a la formación de ozono troposférico y

partículas finas en suspensión. (Agency & Division, 2009; Ahmad et al., 2007; Brunekreef & Holgate, 2002; Finlayson-pitts & Pitts, 2000; VI, n.d.)

2.3.2.3 El ozono (O_3).- Es un gas incoloro e inodoro de bajo peso molecular, formado por tres átomos de oxígeno, cuya nomenclatura química es O_3 . Es una forma alotrópica del Oxígeno, de donde se deriva el nombre científico: trioxígeno. Requiere determinadas condiciones de presión y temperatura para poder formarse.

El ozono se encuentra en dos regiones de la atmósfera terrestre a nivel del suelo "Troposfera" y a nivel de la estratosfera. Estos dos tipos de ozono tienen la misma composición química, sin embargo el ozono estratosférico protege a la tierra de los daños por radiación solar y el ozono troposférico es el principal componente del smog durante los procesos de inversión térmica.

El ozono Estratosférico se forma por acción de la radiación ultravioleta, que disocia las moléculas de oxígeno molecular (O_2) en dos átomos, los cuales son altamente reactivos, pudiendo reaccionar estos con otra molécula de O_2 , formando O_3 .

El ozono estratosférico se destruye por la acción de la propia radiación ultravioleta. Se forma así un equilibrio dinámico en el que se forma y destruye ozono. Así, actúa como un filtro que no deja pasar radiación solar perjudicial hasta la superficie de la Tierra. El equilibrio del ozono en esta capa de la atmósfera se ve afectado por la presencia de contaminantes, como pueden ser los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs), que reaccionan con el ozono y hacen que se destruya más rápidamente de lo que se regenera. El daño que causan cada uno de estos contaminantes es función del potencial de agotamiento del ozono.

También se encuentra ozono en la zona más baja de la atmósfera, convirtiéndose en un problema, puesto que el mismo, en concentración suficiente puede provocar daños en la vegetación y a los seres humanos.

El ozono troposférico no es emitido directamente al aire, sino que se genera. El proceso químico del ozono en la troposfera es completamente distinto, ya que a esta altura no llegan las radiaciones ultravioletas. El conjunto del ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs) forman una neblina visible en zonas muy contaminadas denominada smog fotoquímico.

El ozono troposférico puede llegar a concentraciones dañinas en días calurosos especialmente en zonas urbanas y puede ser transportado largas distancias por el viento, teniendo implicaciones también en el ámbito rural. (Agency & Division, 2009; Ahmad et al., 2007; Brunekreef & Holgate, 2002; Finlayson-pitts & Pitts, 2000; VI, n.d.)

2.3.2.4 El dióxido de azufre (SO₂).- Es un gas altamente reactivo se emite espontáneamente en la naturaleza por vulcanismo y procesos de combustión, proyectadas al ambiente. El impacto ambiental generado por el ser humano provienen en primer lugar de la quema de combustibles fósiles sulfurosos (Carbón, Petróleo, Gas natural, etc.), instalaciones de calefacción, en la industria, en el hogar y principalmente del tránsito vehicular.

Como se mencionó, los compuestos que contienen azufre también están presentes en la atmósfera natural no contaminada. Estas sustancias provienen de la descomposición bacteriana de la materia orgánica, de los gases volcánicos y otras fuentes. Sin embargo, la contribución en el balance total de SO₂ resulta muy pequeña en comparación con las producidas en los centros urbanos e industriales como resultado de las actividades humanas (Agency & Division, 2009; Ahmad et al., 2007; Brunekreef & Holgate, 2002; Finlayson-pitts & Pitts, 2000; VI, n.d.)

2.3.2.5 El material particulado (PM).- Se le reconoce como una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas que pueden existir en cualquier forma, tamaño y pueden ser partículas sólidas o gotas líquidas y están compuestos por muchos elementos incluidos ácidos como nitratos y sulfatos, químicos orgánicos, metales, partículas de polvo etc. El tamaño de las partículas está directamente relacionado con el potencial dañino sobre la salud. Las partículas se dividen en dos grupos principales. Una de las diferencias y principal característica es el tamaño. Las más grandes se llaman material particulado de 10um (PM10) y las más pequeñas se llaman material particulado de 2.5um (PM2.5). (Agency & Division, 2009; Ahmad et al., 2007; Brunekreef & Holgate, 2002; Finlayson-pitts & Pitts, 2000; VI, n.d.).

2.3.3 Principales efectos sobre la salud

Se detalla a continuación los efectos sobre la salud que producen los principales contaminantes atmosféricos citados anteriormente.

2.3.3.1 Monóxido de Carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono en el aire, representa aproximadamente el 75% de los contaminantes emitidos a la atmósfera; sin embargo, es una molécula estable que no afecta directamente a la vegetación o los materiales. Su importancia radica en los daños que puede causar a la salud humana al permanecer expuestos por períodos prolongados a concentraciones elevadas de éste contaminante.

El CO tiene la capacidad de unirse fuertemente a la hemoglobina, la proteína de los glóbulos rojos que contiene hierro y la cual se encarga de transportar el oxígeno a las células y tejidos a través de la sangre.

Al combinarse el CO con la hemoglobina, forma carboxihemoglobina (COHB), elemento indicativo de una reducción significativa en la oxigenación de nuestro organismo (hipoxia), debido a que el CO tiene una afinidad de combinación 200 veces mayor que el oxígeno.

La hipoxia causada por CO puede afectar el funcionamiento del corazón, del cerebro, de las plaquetas y el funcionamiento del endotelio de los vasos sanguíneos. Su peligro es mayor en aquellas personas que padecen enfermedades cardiovasculares, angina de pecho o enfermedad vascular periférica. Se le ha asociado con la disminución de la percepción visual, capacidad de trabajo, destreza manual y habilidad de aprendizaje.

Referencias utilizadas: ((SIMAT), n.d.-a; Agency & Division, 2009; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-a; Robinson et al., n.d.; Wikimedia Foundation, n.d.-e)

2.3.3.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂).- Este gas forma parte del grupo de los óxidos nitrosos (NOx), puede irritar los pulmones, causar bronquitis y pulmonía, así como la reducción significativa de la resistencia respiratoria a las infecciones.

Afecta principalmente al sistema respiratorio. La exposición a corto plazo en altos niveles causa daños en las células pulmonares, mientras que la exposición a más largo plazo en niveles bajos de dióxido de nitrógeno puede causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar similares a un enfisema.

Los efectos de exposición a corto plazo no son claros, pero la exposición continua o frecuente a concentraciones mayores a las encontradas normalmente en el aire, puede causar un incremento en la incidencia de enfermedades respiratorias en los niños, agravamiento de afecciones en individuos asmáticos y con enfermedades respiratorias crónicas.

Las concentraciones de NO₂ en interiores pueden ser más altas que las registradas en el exterior; esto se debe a que una fuente de este contaminante son las estufas que utilizan GLP.

Actualmente se acepta que no hay evidencia científica confiable que sugiera la posibilidad de efectos crónicos atribuibles al NO2. Sin embargo, el dióxido de nitrógeno puede ser fatal a concentraciones elevadas.

En altas concentraciones, puede producir dificultades respiratorias en las personas asmáticas, excesos de tos en los niños y trastornos en general del sistema respiratorio.

Referencias utilizadas: ((SIMAT), n.d.-b; Agency & Division, 2009; Atmosphere of Earth - Wikipedia, n.d.-a; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-b; Sather, Slonecker, Mathew, Daughtrey, & Williams, 2007).

2.3.3.3 El ozono (O₃).- El ozono puede irritar el sistema respiratorio, provocando tos, irritación en la garganta y/o una sensación incómoda en el pecho, puede reducir la función pulmonar y hacer más difícil la respiración profunda y vigorosa normal. Cuando esto sucede, se puede notar que la respiración comienza a sentirse incómoda. Cuando se hacen ejercicios o trabajos al aire libre, el individuo comienza a notar que está respirando más rápida y superficialmente que lo normal.

El ozono puede empeorar el asma. Cuando los niveles de ozono son altos, las personas con asma tienen ataques que requieren atención médica o el uso adicional de medicamentos. Una razón por la cual esto sucede es que el ozono hace que las personas sean más susceptibles a los alergenos, agentes que provocan los ataques de asma. Otros efectos severos para los asmáticos son: función pulmonar reducida, irritación debido a los efectos que el ozono causa al sistema respiratorio.

El ozono puede inflamar y dañar las células que recubren los pulmones. Al cabo de unos pocos días, las células dañadas son reemplazadas y las células viejas se desprenden causando problemas respiratorios graves.

El ozono puede empeorar las enfermedades pulmonares crónicas tales como el enfisema y la bronquitis y reducir la capacidad del sistema inmunológico para defender al sistema respiratorio de las infecciones bacterianas.

El ozono puede causar daño permanente al pulmón. Repetido daño a corto plazo en los pulmones en desarrollo de los niños puede resultar en una función pulmonar reducida en edad adulta. En los adultos, la exposición al ozono puede acelerar la disminución natural de la función pulmonar que ocurre como parte del proceso normal de envejecimiento.

Referencias utilizadas:((SIMAT), n.d.-c; Agency & Division, 2009; Agency, 2012; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-c; Windows to the Universe, n.d.-g)

2.3.3.4 Dióxido de Azufre (SO₂).- En altas concentraciones el dióxido de azufre puede ocasionar dificultad para respirar, humedad excesiva en las mucosas conjuntivas, irritación severa en vías respiratorias e incluso al interior de los pulmones por formación de partículas de ácido sulfúrico, ocasionando vulnerabilidad en las defensas.

El dióxido de azufre es causante de enfermedades respiratorias como bronco constricción, bronquitis y traqueítis, pudiendo llegar a causar broncoespasmos en personas sensibles como los asmáticos, agravamiento de enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares existentes y la muerte; si bien los efectos señalados dependen en gran medida de la sensibilidad de cada individuo, los grupos de la población más sensibles al dióxido de azufre incluye a los niños y ancianos, a los asmáticos y a aquellos con enfermedades pulmonares crónicas como bronquitis y enfisema.

Referencias utilizadas:(Agency & Division, 2009; Atmosphere of Earth - Wikipedia, n.d.-b; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-d; Hidy, 1986; Sistema deMonitoreoAtmosférico (SIMAT), n.d.)

2.3.3.5 Material Particulado (PM).- El efecto persistente de la contaminación del aire respirado, en un proceso silencioso de años, conduce finalmente al desarrollo de afecciones cardiovasculares agudas, como el infarto. Al inspirar partículas ambientales con un diámetro menor de 2,5 micrómetros, ingresan en las vías respiratorias más pequeñas y luego irritan las paredes arteriales. Los investigadores hallaron que por cada aumento de 10 microgramos por metro cúbico de esas partículas, la alteración de la pared media de las arterias aumenta un 5,9 %. El humo del tabaco y el que en general proviene del sistema de escape de los autos produce la misma cantidad de esas partículas.

El riesgo a la salud por partículas lo constituyen su concentración en el aire y el tiempo de exposición; sin embargo, el tamaño es la característica física más importante para determinar su toxicidad y efectos en la salud humana.

Las partículas mayores a 10 micras son retenidas básicamente en las vías respiratorias superiores y eliminadas en su mayor parte por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio, por lo que no son consideradas significativamente dañinas para la salud, sin embargo la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación de garganta y mucosas.

Los grupos de la población con mayor susceptibilidad a los efectos de las partículas incluyen: Niños, ancianos, personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares previas, fumadores, personas que respiran por la boca.

Referencias utilizadas:((SIMAT), n.d.-d; Agency & Division, 2009; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-e; Laden, Neas, Dockery, & Schwartz, 2000; Wikimedia Foundation, n.d.-f)

2.3.4 Principales efectos sobre el ambiente

2.3.4.1 Monóxido de Carbono (CO).- Como se mencionó en el acápite anterior el monóxido de carbono es molécula estable que no afecta directamente a la vegetación o los materiales, es más el contenido de monóxido de carbono en el ambiente es un factor beneficioso para el crecimiento de la vegetación en todos sus estratos.

Plantas: El monóxido de carbono no es tóxico para las plantas, ya que se oxida rápidamente, convirtiéndose en dióxido de carbono, sustancia que las plantas utilizan para la fotosíntesis.

Agua: El monóxido de carbono es poco soluble en agua. La rápida disminución de la presión del gas bajo presión genera mezclas explosivas en la superficie del agua. En Alemania se encuadra al monóxido de carbono entre las sustancias de riesgo 0 para el agua.

Aire: El monóxido de carbono es aproximadamente tan denso como el aire. Ingresa a la atmósfera con los gases de escape de los vehículos y se oxida rápidamente formando dióxido de carbono. Esta sustancia constituye una especial amenaza por su amplia

dispersión y su extrema toxicidad para los seres humanos y animales. Es por eso que debe prestarse particular atención a la concentración de CO en el aire en las zonas donde se forma smog.

Suelo: En suelos no saturados con oxígeno se ha constatado una concentración mayor de dióxido de carbono, resultado de la oxidación del monóxido de carbono. El CO acelera la oxidación de NO para formar NO₂. Aproximadamente 80 ton de CO/km2 son descompuestas por las bacterias del suelo cada año.

Tiempo de vida media: El tiempo medio de persistencia del CO en la atmósfera oscila entre 1 y 2 meses (HORN, 1989). El tiempo medio de persistencia del monóxido de carbono ligado a la sangre es, aproximadamente, 250 minutos (HORN, 1989).

Degradación, productos de la descomposición: El monóxido de carbono se oxida rápidamente formando dióxido de carbono. Especialmente a altas temperaturas reacciona explosivamente con numerosas sustancias (ej. con polvo de aluminio, potasio y dióxido de nitrógeno), con producción de calor ej. con trifluoruro de bromo y óxido de plata). Las plantas metabolizan el CO transformándolo en CO2 y gas metano CH₄.

Referencias utilizadas: ((SIMAT), n.d.-a; Agency & Division, 2009; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-a; Robinson et al., n.d.; Wikimedia Foundation, n.d.-e)

2.3.4.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂).- Muchos de los efectos ambientales que se atribuyen al NO2 se deben en realidad a los productos de diversas reacciones asociadas. En presencia de luz solar el NO2 se disocia en NO y O, donde el oxígeno atómico (O) reacciona con el oxígeno molecular del ambiente (O2) para producir ozono (O3), por otra parte el NO2 reacciona con el radical OH para producir partículas de ácido nítrico (HNO3), las cuales se dispersan en el ambiente en forma de Iluvia, niebla, nieve y rocío, dando origen a un proceso de acidificación de la tierra y cuerpos de agua.

Las variaciones o cambios permanentes en las propiedades de estos elementos, deriva finalmente en la pérdida de hábitat de especies primarias y consecuentemente en daños ecológicos irreversibles.

Referencias utilizadas: ((SIMAT), n.d.-b; Agency & Division, 2009; Atmosphere of Earth - Wikipedia, n.d.-a; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-b; Sather et al., 2007).

2.3.4.3 Ozono (O₃).- La importancia del ozono parte del hecho de que todos los organismos que habitan el planeta estén habituados a un determinado nivel de radiación ultravioleta, que ha existido por miles de años, hace que frente a un cambio en el mismo se den problemas en su adaptación a este nuevo ambiente con mayor radiación. Es decir, no todos los organismos podrán vivir en estas nuevas condiciones, o al menos no podrán hacerlo en las mismas condiciones. Por ejemplo, en los ecosistemas marinos se prevé una disminución del plancton y, por lo tanto, de la disponibilidad de alimento para otros seres superiores peces mamíferos y otros.

Un mayor nivel de radiación afectará negativamente el crecimiento de las plantas. Por ello, las capas vegetales, como bosques, prados e incluyendo plantaciones, cosechas se verán afectadas. Este aumento en la radiación además provocaría cambios en la composición química de varias especies de plantas, cuyo resultado sería una disminución o posible desaparición de especies que no se adapten rápidamente.

Por otro lado, los COVs junto con los NOx en presencia de luz solar actúan como precursores de la formación de ozono troposférico o ambiental. La contaminación por ozono es un problema crónico y de amplia distribución. El ozono troposférico puede causar efectos nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente pero, de hecho, las especies vegetales y los cultivos son más sensibles a este contaminante que los seres humanos. El ozono troposférico interfiere en la actividad fotosintética, en el crecimiento y en el metabolismo general de las plantas, y también aumenta la sensibilidad de los árboles a las heladas, al calor y a la seguía.

Referencias utilizadas:((SIMAT), n.d.-c; Agency & Division, 2009; Agency, 2012; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-c; Windows to the Universe, n.d.-g)

2.3.4.4 Dióxido de Azufre (SO₂).- En las plantas el SO₂ puede presentar lesiones visibles de las partes aéreas de la planta por acción directa. El SO₂ ingresa a las hojas a través de los estomas y, al afectar el mecanismo de apertura de los poros, perturba los aspectos fisiológicos y bioquímicos de la fotosíntesis, la respiración y la transpiración de las plantas; también se producen lesiones indirectas, especialmente por acidificación del suelo conllevando alteración del crecimiento.

En el medio ambiente:

Agua: El dióxido de azufre ingresa a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos por deposición seca y mojada. La solución acuosa reacciona como un ácido fuerte. En Alemania, el dióxido de azufre se encuadra en el grupo de sustancias clasificadas como "Amenaza para el agua", lo mismo que el ácido sulfúrico y el ácido sulfuroso.

Aire: El SO2 es higroscópico en la atmósfera y forma aerosoles de ácido sulfúrico y sulfuroso que luego forman parte de la lluvia ácida afectando directamente a la degradación de los materiales. La intensidad de formación de aerosoles y el período de permanencia de los aerosoles en la atmósfera dependen de las condiciones meteorológicas reinantes y de la cantidad de impurezas catalíticas presentes en el aire. El tiempo medio de permanencia en la atmósfera asciende a unos 3-5 días, de modo que la sustancia puede ser transportada hasta grandes distancias.

Suelo: Las inmisiones húmedas y secas provenientes de la atmósfera constituyen las fuentes más importantes de acumulación del azufre en el suelo. El SO2 y los productos de su transformación son los principales responsables de la acidificación de los suelos, especialmente cuando los sistemas de amortiguación del suelo no pueden neutralizar a los ácidos que ingresan por deposición directa o por transformación de los sulfatos sólidos.

Referencias utilizadas:(Agency & Division, 2009; Atmosphere of Earth - Wikipedia, n.d.-b; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-d; Hidy, 1986; Sistema deMonitoreoAtmosférico (SIMAT), n.d.).

2.3.4.5 Material Particulado (PM _{2.5}).- Además de los efectos sobre la salud de los materiales particulados, estos tienen efectos climáticos derivados de la capacidad de algunos de estos materiales de absorber, dispersar y reflejar radiación. También pueden afectar cuando se encuentran en grandes concentraciones los niveles de visibilidad, tienen efectos sobre ecosistemas (fertilización, acidificación, etc), también pueden degradar materiales de construcción.

Visibilidad: La visibilidad es la distancia en la cual un objeto puede ser percibido contra el cielo como horizonte sin una distinción exacta de sus detalles. En regiones donde la concentración de partículas fluctúa alrededor de 20 μg/m3, la visibilidad media es de 50 a 60 Km. Por el contrario las áreas urbanas donde la concentración de partículas excede los 100 μg/m3, la visibilidad promedio se reduce entre 8 y 10 Km. Cuando se produce el smog

fotoquímico, las partículas duplican su concentración y la visibilidad se reduce a 5 ó 7 Km. La reducción de la visibilidad es una de las pruebas más evidentes del aumento de contaminación por partículas. En la Ciudad de México la visibilidad promedio en enero de 1937 era de 10 a 15 Km y al principio de la década de 1970 disminuyó entre 2 y 4 Km.

Clima: Las partículas reflejan y absorben parte de la energía solar, lo cual provoca un decremento de la temperatura en algunas regiones del planeta.

Materiales: Las partículas actúan como catalizadores sobre superficies metálicas, favoreciendo su oxidación. Además pueden absorber gases como los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales reaccionan con la humedad del entorno y forman partículas de ácido sulfúrico o nítrico. Estos ácidos corroen los materiales de construcción de edificios y monumentos, fenómeno de la lluvia acida.

Ecosistema: Las partículas y otros contaminantes del aire son causantes de la alteración de los elementos típicos del suelo y propiedades fisicoquímicas del agua. Intervienen significativamente en la formación del fenómeno de lluvia ácida, su impacto en la biosfera es determinado por el grado de toxicidad y contenido orgánico de las mismas.

Referencias utilizadas:((SIMAT), n.d.-d; Agency & Division, 2009; Brunekreef & Holgate, 2002; Ecured, n.d.-e; Laden et al., 2000; Wikimedia Foundation, n.d.-f)

2.4 Normativa Aplicada

2.4.1 Normativa Legal Ecuatoriana

Desde la promulgación de la antigua Constitución Política de la República del Ecuador en 1998, se reconoce a las personas, el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación; para preservar el medio ambiente y de esta manera garantizar un desarrollo sustentable, luego fue promulgada la Ley de Gestión Ambiental LEY No. 37. RO/ 245 DE 30 DE JULIO DE 1999 para cumplir con dichos objetivos (H Congreso Nacional).

2.4.2 Legislación Ambiental del Ecuador.- La Ley de Gestión Ambiental constituye el cuerpo legal específico más importante atinente a la protección ambiental en el país. Esta ley está relacionada directamente con la prevención, control y sanción a las actividades contaminantes a los recursos naturales y establece las directrices de política ambiental, así como determina las obligaciones, niveles de participación de los sectores público y privado en

la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones dentro de este campo.

Esta Ley y su respectivo Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, aplican en lo referente al recurso aire a través de la Norma de Emisiones al Aire desde fuentes fijas de combustión, previsto en el Libro VI, Anexo 3 del Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (TULAS) (Tulas VI, 2003), en donde se establecen los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para emisiones de contaminantes del aire hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión. Otra norma importante dentro del Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental es el de la Norma de Calidad del Aire Ambiente y que se estipula en el Libro VI, Anexo 4 (Tulas VI, 2003), en el cual se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo. Esta norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente (H Congreso Nacional, n.d.; Norma & Calidad, 2003).

Esta normativa ha sido ratificada mediante el acuerdo #050 del Ministerio de Ambiente, firmado el 04 de abril del 2011 por la Ministra de Ambiente Marcela Aguiñaga Vallejo ("ACUERDO 050.pdf," 2011).

2.4.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental (TULAS).- El Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE (31/marzo/2003), en el TULAS Libro I "De la Autoridad Ambiental", Título I "De la misión, Visión y Objetivos del Ministerio de Ambiente" tiene como misión y visión:

"Dirigir la gestión ambiental, a través de políticas, normas e instrumentos de fomento y control, para lograr el uso sustentable y conservación del capital natural del Ecuador, asegurar el derecho de sus habitantes a vivir en un ambiente sano y apoyar a la competitividad del país".

"Ser la autoridad nacional, líder del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, ha promulgado el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) principalmente el libro VI anexo 4 en el cual consta la Calidad del Aire Ambiente"

El TULAS proporciona lineamientos básicos para la gestión de los contaminantes aéreos, que combinados o asociados con los estándares y lineamientos suministrados por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América), proporcionan un marco referencial estandarizado para la medición, control y publicación de la información relativa a los contaminantes aéreos monitoreados, esto es: unidades de medida, rangos, puntos de ruptura, mínimos y máximos permisibles, generación de índices, etc. Estándares que

nos permitirán manejar y presentar la información de forma homologada, segura y de manera más comprensible para el usuario común como para el usuario especializado. (Anexo, IV; Misión, Ambiente, Misión, Ministerio, & Ambiente, 2008; Sección, Norma, & Calidad, 2003).

2.4.4 Normativa Vigente para la publicación de índices de contaminación atmosférica de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA).

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de Norte América (EPA *Eviromental Protection Agency*), es la agencia que se encarga del control, regulación ambiental en los EEUU, este organismo está encargado de emitir, controlar y ejecutar la normativa de legislación ambiental.

Esta agencia sirve de marco referencial para establecer normativas en muchos países. En particular, para este estudio se utilizaron estas normativas para el control, monitoreo y presentación de la información sobre los contaminantes atmosféricos de la ciudad de Cuenca, específicamente el documento de asistencia técnica para reportar diariamente el índice de calidad ambiental.

Referencias utilizadas: (Agency & Division, 2009; "CFR-2000-title40-vol5-part58-appG.pdf," n.d.; Enviromental Protection Agency, 2011; Mintz, n.d.).

2.5 Open Geospatial Consortium (OGC)

Para logar la interoperabilidad y manejo de estos sistemas de monitoreo, es indispensable contar con normas y estándares. En el ámbito de la información geográfica, estas son generalmente dictadas por el Open Geospatial Consortium (Pacheco, 2013).

El Open Geospatial Consortium (OGC) fue creado en 1994 y agrupa (en julio de 2013) a 482 organizaciones públicas y privadas. Las raíces del OGC se encuentran en la software fuente libre GRASS y la fundación OGF (Open GIS Foundation) fundada en 1992.

El objetivo de OGC es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los Sistemas de Información Geográfica y de la World Wide Web. Persigue acuerdos entre las diferentes instituciones, empresas y universidades del sector geoespacial que posibiliten la interoperación de sus sistemas de geoprocesamiento y facilitar el intercambio de la información geográfica en beneficio de los usuarios. Anteriormente fue conocido como Open GIS Consortium (Open Geospatial Consortium, n.d.-a; Wikimedia Foundation, n.d.-g).

El OGC ha trabajo en la generación de estándares y especificaciones para el intercambio de información geográfica a través de internet. Varias especificaciones de este consorcio, como Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS) y Web Coverage Service (WCS), han culminado en implementaciones de software como Mapserver y Geoserver que en la actualidad constituyen dos de las plataformas más utilizadas para la construcción y publicación de geoservicios (Pacheco, 2013).

En nuestro país varias de estas especificaciones y normas han sido adoptadas como políticas nacionales de geoinformación de registro oficial N° 269 del 1 de septiembre del 2010 (CONAGE, 2010). Estas políticas son promovidas para que todas las entidades utilicen los mismos criterios con la finalidad de articular los nodos de información geográfica en un único Sistema Nacional de Información (SNI) y a la Infraestructura Ecuatoriana de Datos Geoespaciales.

Dentro de las políticas nacionales de geoinformación del Ecuador, se menciona que las instituciones productoras de información geoespacial deben garantizar la interoperabilidad de los servicios, además de exigir que las políticas, normas y estándares institucionales deban estar alineados a los nacionales (CONAGE, 2010).

2.6 Sensor Web Enablement (SWE)

SWE es un grupo de especificación del OGC de interfaces de interoperabilidad y codificaciones de metadatos que permiten la integración en tiempo real de las redes de sensores heterogéneos en las infraestructuras de información. Bajo el concepto SWE, todos los sensores se encuentran interconectados vía WEB y reportan constantemente su posición, todos tienen metadatos asociados, los datos son accesibles remotamente, e inclusive algunos de estos sensores son controlables remotamente (Ilustración 9).

Los desarrolladores utilizan estas especificaciones en la creación de aplicaciones, plataformas y productos relacionados con los dispositivos conectados a la Web, tales como medidores de inundación, monitores de contaminación atmosférica, monitores de ruido, medidores de tensión en puentes, monitores cardíacos móviles, webcams y robots, así como sensores remotos de captura de imágenes sean sensores remotos satelitales o aéreos (Bröring et al., 2011; Percivall, Reed, & Davidson, 2007; Rueda & Gertz, 2008).

Para más detalles y artículos podemos referirnos a las siguientes direcciones web: http://www.opengeospatial.org/pressroom/papers y http://www.opengeospatial.org/projects/groups/sensorwebdwg

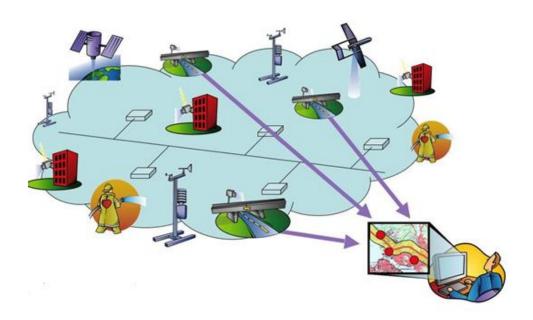


Ilustración 9.-Concepto General SWE

Fuente:(Percivall et al., 2007)

2.7 Sensor Observation Service (SOS)

El Servicio de Observación del sensor (SOS) es uno de los servicios web de SWE para consultar los datos del sensor en tiempo real y series temporales de datos del sensor. Los datos de los sensores ofrecidos comprenden descripciones de los propios sensores, es decir metadatos, que son codificados en el Lenguaje de modelado de sensores (SensorML), mientras que los valores observados son codificados según la especificación de Observaciones y Mediciones (O & M). La especificación O&M define un modelo abstracto y un esquema de codificación XML para observaciones y mediciones. El servicio web, así como el esquema de las observaciones son los estándares abiertos definidos por el OGC (North & Ifgi, 2012).

La norma SOS es aplicable a los casos de uso en los que se necesita que los datos del sensor a gestionar sean interoperables. Esta norma define una interfaz de servicio Web que permite consultar las observaciones, los metadatos del sensor, así como representaciones de las características observadas. Además, esta norma define medios para registrar nuevos sensores y para eliminar los que ya no se encuentran operativos. También, define las operaciones para insertar nuevas observaciones del sensor (Open Geospatial Consortium, n.d.-b).

Como se mencionó anteriormente, el Servicio de Observación del sensor (SOS) proporciona una interfaz estandarizada para la gestión, recuperación de metadatos y observaciones de los sistemas de sensores heterogéneos, motivo por el cual hoy en día, los sistemas de sensores contribuyen cada vez más para la captura de los datos geoespaciales. Los sistemas de sensores incluyen, entre otros, sensores in situ (por ejemplo, medidores caudal en los ríos, presas, ruido etc.), plataformas de sensores en movimiento (por ejemplo, satélites o vehículos aéreos no tripulados) o redes de sensores estáticos (por ejemplo redes de sismógrafos). Junto con otras especificaciones del OGC el SOS ofrece una amplia gama de capacidades de interoperabilidad, para la unión de sensores individuales, plataformas de sensores, o redes, constelaciones de sensores en entornos de tiempo real (North & Ifgi, 2012; Open Geospatial Consortium, n.d.-b)

El SOS al definir un modelo común para todos los sensores, sistemas de sensores y sus observaciones, establece un modelo "horizontal" o "transversal", ya que se aplica a todos los dominios en los que se utilizan sensores para recopilar datos. El dominio específico encapsula detalles específicos en una segunda capa (características de interés, propiedades observadas, descripción de sensores etc.) permitiendo que la "observación" básica puedan ser procesada por un cliente genérico, en ese sentido, SOS también ofrece características amplias de acceso a los datos de observación y metadatos (Ilustración 10).

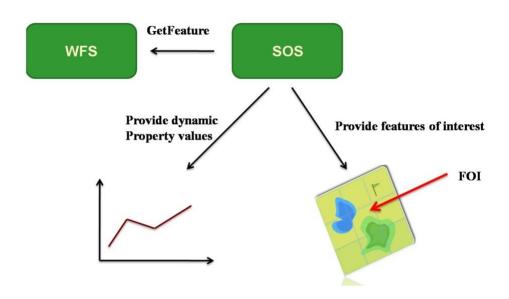


Ilustración 10.- Esquema funcional SOS

Fuente: (North & Ifgi, 2012)

3. MÉTODOS

El ámbito de aplicación de este trabajo se encuentra localizado en la ciudad de Cuenca, cantón del mismo nombre, provincia del Azuay. La capital cuencana se caracteriza por estar localizada en un valle de origen glacial con una cota (altura) media de 2550 msnm, presenta una morfología irregular y compleja característica de los valles interandinos, tiene una temperatura promedio de 16.1 grados Celsius y una presión barométrica local media de 751.895mmHg (EMOV, 2012).

La ciudad cuenta con una estación automática de monitoreo en tiempo real de contaminantes atmosféricos (Tabla 2), estación cuyo rango efectivo de cobertura es de 4 km de radio, es decir que abarca la mayor parte de ciudad (hacia el Norte limitando con Pumayunga, parroquia Sinincay, al Sur Virgen de la Nube, Parroquia Turi, al Este con el limite parroquial de San Joaquín y al Oeste con la intersección de la Panamericana Norte y la Avenida Gonzáles Suárez) (Ilustración 11). Esta estación se encuentra localizada en los altos del edificio de la Alcaldia en las siguientes coordenadas proyectada UTM 721895.66 (mE), 9679548.85 (mN), zona 17s, Datum wgs84, y utiliza el acrónimo MUN.

ELEMENTO	SIMBOLO
Ozono	(O3)
Monóxido de Carbono	(CO)
Dióxido de Azufre	(SO2)
Dióxido de Nitrógeno	(NO2)
Material Particulado 2,5 um	(PM2.5)

Tabla 2.- Elementos Monitoreados Estación Tiempo Real "MUN"

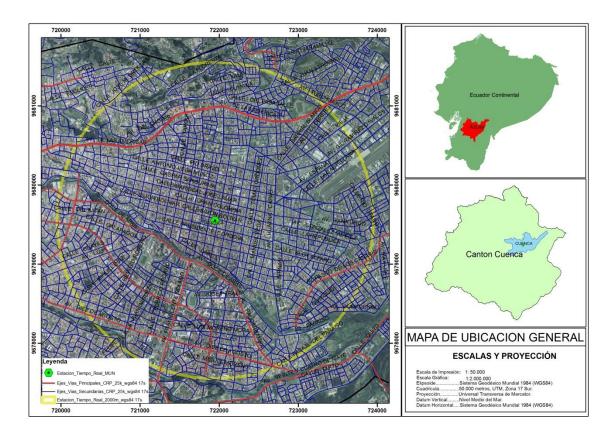


Ilustración 11.- Alcance Nominal Estación

El método para la concreción de este trabajo se compone por las etapas que se describen a continuación (Tabla 3).

Etapa I	Captura y almacenamiento de los datos registrados por la estación MUN.
Etapa II	Establecimiento de comunicación y rutinas de transferencia de datos, inserción de registros en el servidor local UDA.
Etapa III	Procesamiento de la información.
Etapa IV	Implementación de los paquetes de software open source para la habilitación de servicio SOS y cliente web.
Etapa V	Pruebas de fiabilidad y funcionamiento.

Tabla 3.- Etapas Metodológicas

Etapa I. Captura y almacenamiento de los datos registrados por la estación MUN.

En esta primera etapa se describe la forma de adquisición de los datos de la estación de monitoreo continuo de agentes contaminantes atmosféricos (MUN). La captura de datos de los sensores es cada segundo y se transmiten a un servidor local cada minuto. Los datos se almacenan en formato CSV y XLSX (Ilustración 12), archivo que en su primer campo indica el tipo de elemento observado, el segundo campo representa el intervalo de la captura de la observación, el tercer campo comprenden la fecha y tiempo de la observación, y dos campos finales que representan un valor redondeado y el valor crudo observado por el sensor. Estos archivos son almacenados en un repositorio que se encuentra en las oficinas centrales de la EMOV-EP.

Estos datos almacenados se encuentran en formato RAW, esto significa que las magnitudes y unidades son propias de cada elemento registrado (Tabla 4). Esta información será tratada y procesada en la etapa III de este documento.

Parameter	Average Interval	Date	Value	Raw Value
OZONE	001m	01/08/2012 9:13	9,5125	9,5124998
OZONE	001m	01/08/2012 9:14	9,09375	9,09375
OZONE	001m	01/08/2012 9:15	9,2375	9,23750019
OZONE	001m	01/08/2012 9:16	10,1812	10,1812496
OZONE	001m	01/08/2012 9:17	10,4187	10,4187498
OZONE	001m	01/08/2012 9:18	10,4125	10,4125003
OZONE	001m	01/08/2012 9:19	10,7688	10,7687501
OZONE	001m	01/08/2012 9:20	10,5125	10,5124998
OZONE	001m	01/08/2012 9:21	10,9625	10,9624996
OZONE	001m	01/08/2012 9:22	11,8062	11,8062496
OZONE	001m	01/08/2012 9:23	11,4563	11,4562501
OZONE	001m	01/08/2012 9:24	10,875	10,875
OZONE	001m	01/08/2012 9:25	11,05	11,0500001
OZONE	001m	01/08/2012 9:26	11,1125	11,1125001
OZONE	001m	01/08/2012 9:27	9,925	9,92500019
OZONE	001m	01/08/2012 9:28	8,99375	8,99374961
OZONE	001m	01/08/2012 9:29	9,49375	9,49374961
OZONE	001m	01/08/2012 9:30	9,9625	9,96249961
OZONE	001m	01/08/2012 9:31	9,26875	9,26875019
OZONE	001m	01/08/2012 9:32	9,075	9,0749998

Ilustración 12.- Datos registrados formato RAW

Contaminante	Símbolo	Datalogger	Unidad
Ozono	03	ppb	Partes por Billón
Monóxido de Carbono	СО	ppm	Partes por Millón
Dióxido de Nitrógeno	NO2	ppb	Partes por Billón
Dióxido de Azufre	SO2	ppb	Partes por Billón
Material Particulado 2,5 um	PM2.5	ug/m3	Microgramos por metro cubico

Tabla 4.- Elementos y unidad de medida registrados

Etapa II.- Establecimiento de comunicación y rutinas de transferencia de datos, inserción de registros en el servidor local UDA.

Con PostGIS instalado y funcionando, se procede a crear el esquema de tablas y relaciones necesarias para el registro apropiado de los datos provenientes de la estación de monitoreo. El esquema de la base de datos debe cumplir con las especificaciones de SOS establecido por OGC, especificaciones que se determinan en un marco de dos conjuntos referenciales de especificaciones que definen la información y el modelo de servicio, entre las principales especificaciones están:

- Descubrir o develar el sistema de los sensores, las observaciones y los procesos de observación.
- Determinar las capacidades del sensor y la calidad de las mediciones.
- Acceso a los parámetros del sensor que automáticamente permite al software procesar y geo-localizar las observaciones.
- Recuperar en tiempo real las observaciones de series y coberturas en la codificación estándar.
- Adquirir las observaciones de interés.
- Proporcionar notificaciones de los sensores o de los servicios de sensores basados en criterios especificados por el usuario.

Estas funciones se activan a través de la creación de varias codificaciones para describir los sensores y los sensores y observaciones a través de la definición de interfaces estándar implementados como servicios web. La ilustración 13 muestra el diagrama UML básico de la estructura necesaria para poder registrar los datos de los sensores, en conformidad con la especificación SOS (Bröring, n.d.; Bröring et al., 2011; Havlik, Bleier, & Schimak, 2009). A continuación se presenta el esquema completo de las tablas a generarse en la base de datos PostGIS (Ilustración 14), mientras que el código fuente (script de creación) utilizado para este propósito se encuentra en Anexos (Creacion_base_datos.sql). Para información más detallada de estos estándares podemos dirigirnos a los siguientes documentos (S. Cox, 2010; Enablement & Guide, 2012).

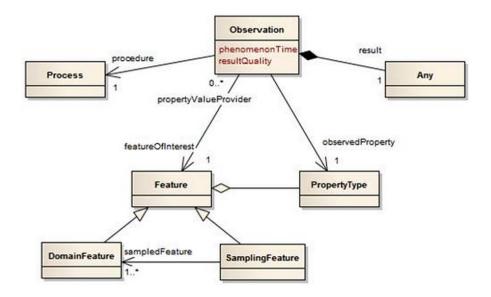


Ilustración 13.- Esquema UML general de la base de datos en conformidad con la especificación SOS Fuente:(52°North SOS data models, n.d.)

Con la base de datos creada, la estructura de tablas necesaria conformada y consolidada en nuestra base, podemos comenzar a insertar los registros históricos y los registrados en tiempo real de la estación de monitoreo MUN. Al momento de realizar la implementación de esta tesis se ha trabajado exclusivamente con datos históricos. Para los datos en tiempo real se planea implementar un canal de comunicaciones FTP, para capturar y replicar los datos en el servidor local de la Universidad del Azuay. Esta conexión para el consumo de datos en tiempo real será iterativa, automática y de acuerdo a la disponibilidad de servicio del servidor remoto. Los datos registrados serán ingresados vía SQL en una geodatabase PostGIS instalada en el servidor de la Universidad del Azuay para su posterior procesamiento.

En la Ilustración 15.a, se observa un fragmento de código para la inserción de un registro histórico en la recientemente creada base de datos, además se explica la estructura y los parámetros SQL utilizados en el comando de inserción de registros de contaminantes (Ilustración 15.b). Estos parámetros básicos son necesarios para cumplir con la especificación SOS, por ejemplo el tipo de contaminante, sus descripciones, códigos, sensores, los valores registrados, el día, hora, minuto y segundo de la observación (Ilustración 15.c). Como se puede apreciar, esta estructura se utiliza para registrar todos los datos de los contaminantes obtenidos de la estación de monitoreo MUN.

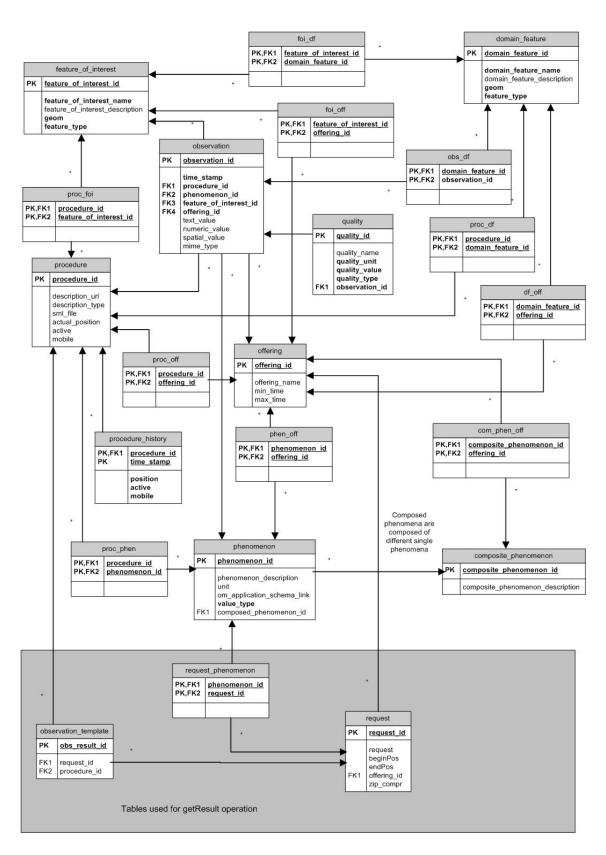


Ilustración 14.- Esquema de la base de datos

Fuente: (Enablement & Guide, 2012)

INSERT INTO observation (time_stamp, procedure_id, Feature_of_interest_id,phenomenon_id,text_value,observation_id) values ('2013 05 07 13:52','urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor5','foi_5001','urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:SO2', '3.633',874687);

(a)

Campo	Descripción
Time stamp	Fecha en formato "Año/mes/día"
procedure id	Identificador del procedimiento
feature of interest	Objeto de interes
phenomenon id	Identificador del fenomeno
text value	Valor registrado contaminante
observation id	Numero identificador de la observación

(b)

Contaminante	Simbolo	foi	procedure id	feature of interest	text value	observation id
Ozono	03	foi_2001	urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-2	urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:O3	59.53	953778
Monóxido de Carbono	СО	foi_3001	urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-3	urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:CO	1.762	927414
Dioxido de Nitrogeno	NO2	foi_4001	urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-4	urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:NO2	18.216	901050
Dioxido de Azufre	SO2	foi_5001	urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-5	urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:SO2	3.881	874686
Material Particulado 2,5 um	PM2.5	foi_6001	urn:ogc:object:feature:Sensor:sensor-6	urn:ogc:def:phenomenon:OGC:1.0.30:PM2,5	4.5	980084

(c)

Ilustración 15 insertar registros históricos en base de datos: a) Código para SQL; b) Descripción parámetros INSERT; c)
Parámetros SQL INSERT

Etapa III.- Procesamiento de la información.

El objetivo de esta etapa es transformar los datos en crudo en información normalizada para la generación del índice de calidad del aire.

Con los datos ingresados en la base de datos, se homogenizan los datos a una misma unidad de medida para este caso partes por millón (ppm), con la excepción del material particulado de 2.5um que se mantendrá en microgramos por metro cubico (ug/m3). Además de esto se redondean los valores a tres decimales. Luego a estos registros se les aplica un filtro para eliminar los registros pertenecientes a la calibración de sensores y registros erróneos debido a fallas eléctricas o externalidades registradas que pueden afectar la valoración de cada contaminante o del índice general de calidad del aire.

Seguido se corrigen los valores registrados según las condiciones locales (Tulas VI). Esta corrección resulta de tomar en cuenta la temperatura (t) y presión barométrica (PbI) del punto en donde se tomaron las observaciones y aplicar la fórmula empírica 1. De esta fórmula se obtiene un valor de corrección, el cual se debe multiplicar por los valores registrados de cada contaminante. De esta manera corregimos los valores de acuerdo a las condiciones locales.

$$Cc = Co * \frac{760 \text{ mm Hg}}{Pbl \text{ mmHg}} * \frac{(273 \circ + t^{\circ}) \circ K}{298 \text{ K}}$$

Cc = Concentración Corregida
Co = Concentración Observada
Pbl = Presión Barométrica Local
t = Temperatura

Formula 1.- Corrección valores contaminantes

A continuación se presenta un ejemplo con datos reales en el que se aplica la fórmula con datos normalizados de ozono (Formula 2). La observación fue registrada el día 25/05/2013 a las 23:27:00 y registró un valor de 14,36 ppb, la presión barométrica promedio fue de 685,2 mmHg y la temperatura media de 14,7° grados Celsius. Aplicado el factor corrección, el valor representativo de ozono normalizado es de 15,377 partes por billón.

Co = 14,36 ppb
PbI = 685,2 mmHg
t = 14,7° C

$$Cc = 14.4 ppb * \frac{760mmHg}{685.2mmHg} * \frac{(273^{\circ}+14.7^{\circ})^{\circ}K}{298K}$$

$$Cc = 15.377$$

Formula 2.- Ejemplo de aplicación de la corrección valores contaminantes

A los valores normalizados se aplican los comandos SQL (AVG, MIN, MAX) para la obtención del promedio, mínimo y máximo registrados por contaminante (Tabla 5) en un rango de tiempo variable especificado por el usuario permitiendo que el sistema sea lo más dinámico posible.

min	1,1035156	ppb	0,00110352	ppm	0,001	ppm redondeado a 3 decimales
max	29,9625	ppb	0,0299625	ppm	0,030	ppm redondeado a 3 decimales
avg	14,391148	ppb	0,01439115	ppm	0,014	ppm redondeado a 3 decimales

Tabla 5.- Máximos, mínimos y promedio de las mediciones

El procedimiento para la generación del índice del aire ICA (Formula 3) parte de tomar el valor promedio generado en el período de tiempo consultado de cada contaminante para aplicar estos valores en la siguiente formula.

$$ICA = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

ICA = Índice de calidad del aire.

Cp = Concentración promedio observada y corregida.

BP_{Hi} = Punto de ruptura mayor o igual a Cp

BP_{Lo} = Punto de ruptura menor o igual a Cp

 I_{Hi} = Valor del ICA correspondiente a BP_{Hi} I_{Lo} = Valor del ICA correspondiente a BP_{Lo}

Formula 3.- Formula general cálculo ICA

El valor Concentración Promedio observada Cp es el promedio (Tabla 5) y los valores $BP_{Hi.}$ $BP_{Lo.}$ $I_{Hi.}$ I_{Lo} se obtienen de la tabla 6.

La tabla 6 fue creada mediante la fusión de tablas de referencia de EPA para evaluar los valores de los contaminantes y poder establecer los índices. Esta fusión se realizó para facilitar tanto el ingreso como la consulta de estos parámetros en la base de datos. Esta tabla está conformada principalmente por tres columnas, la primera columna de nombre ICA, representa los rangos de valores de 0 a 500 de los índices posibles según los parámetros establecidos por la EPA, una columna de nombre COLOR que representa la codificación en formato de colores asociada al rango de valores posibles de índices, y las siguientes columnas representan el contaminante, su unidad de medida en ppb y ppm con las concentraciones mínimas y máximas para cada rango de valores índices y los cuales se les llama punto de ruptura mínimo y punto de ruptura máximo respectivamente.

		10	Αθ3	$=\frac{I_{Hi}-1}{BP_{Hi}-1}$	1 _{Lo} * (C_p –	BP_{Lo}) + I	Lo	
ICA	COLOR	O3 8h ppb	O3/8h ppm	PM2.5 24 h ug/m3	PM2.5 1h ug/m3	CO 8h ppm	SO2 24h ppb	SO2 24h ppm	NO2 1h ppb	NO2 1h ppm
0 - 50	Verde	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0 - 50-	verde	59,000	0,059	54,000	15,400	4,400	34,000	0,034	0,000	0,000
51 -100	Amarillo	60,000	0,060	55,000	15,500	4,500	35,000	0,035	0,000	0,000
31-100	Amarillo	75,000	0,075	154,000	40,400	9,400	144,000	0,144	0,000	0,000
101- 150	Marania	76,000	0,076	155,000	40,500	9,500	145,000	0,145	0,000	0,000
101- 150	Naranja	95,000	0,095	254,000	65,400	12,400	224,000	0,224	0,000	0,000
151 200	Deie	95,000	0,095	255,000	65,500	12,500	225,000	0,225	0,000	0,000
151 - 200	Rojo	115,000	0,115	354,000	150,400	15,400	304,000	0,304	0,000	0,000
201 200	1 - 300 Purpura	116,000	0,116	355,000	150,500	15,500	305,000	0,305	650,000	0,650
201 - 300		374,000	0,374	424,000	250,400	30,400	604,000	0,604	1240,000	1,240
	Marrián			425,000	250,500	30,500	605,000	0,605	1250,000	1,250
301 - 300	301 - 500 Marrón	-		604,000	500,400	50,400	1004,000	1,004	2040,000	2,040

Tabla 6. - Clasificación rango de valores contaminantes EPA.

A continuación se muestra un ejemplo. Considere el valor promedio de ozono registrado en un período de tiempo determinado, que para este caso se utilizará el valor 0.030 ppm. Se localiza la columna que representa el contaminante ozono ("**03 - 8h ppm"**). Buscamos el rango en donde se encuentra el valor citado, para este caso (BP_{Hi} = 0.059, BP_{Lo} = 0.000). Se verifica que cae en el rango de la zona de color verde que corresponde a ICA (I_{Hi} = 50, I_{Io} = 0), valores que se reemplazan en la siguiente expresión (Formula 4).

ICA
$$O_3 = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

ICA O_3 = Índice de calidad del aire.

Cp = Concentración del contaminante redondeado a 3 decimales.

 BP_{Hi} = Punto de ruptura mayor o igual a Cp BP_{Lo} = Punto de ruptura menor o igual a Cp I_{Hi} = Valor del ICA correspondiente a BP_{Hi} I_{Lo} = Valor del ICA correspondiente a BP_{Lo}

ICA
$$O_3 = \frac{50 - 0}{0.059 - 0.000} * (0.030 - 0.000) + 0$$

$$ICA O_3 = \frac{50}{0.059} * (0.030)$$

$$ICA O_3 = 25.42$$

Formula 4.- Ejemplo Calculo ICA

El valor obtenido (25.42) recae en el rango de 0 a 50 correspondiente al color verde, indicando que la calidad del aire es BUENA y no existen restricciones para ningún grupo ni actividad al aire libre.

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN
0 - 50	Verde	Buena

Tabla 7.- Resultado cálculo Índice Ejemplo

Este procedimiento se aplica de igual forma a todos los contaminantes atmosféricos (CO, NO₂, SO₂, O₃, PM_{2.5}) que son registrados por la estación MUN. Luego, para la determinación del índice de calidad general del aire (ICAG) se procede a evaluar qué elemento contaminante presenta el mayor valor índice (máximo color) y se asume a éste como el índice de calidad general aire que represa a todos los elementos registrados. En otras palabras el índice máximo de todos los elementos determinará el índice general de calidad del aire registrado en la estación.

Finalmente, según el grado de contaminación ICAG general se presenta una codificación por colores (Ilustración 16), donde cada color corresponde a un rango de valores y peligrosidad de las condiciones de contaminación presentes al momento de la observación. Estos rangos codificados tienen asociados un aviso de las implicaciones generales a la salud si los hubiere, en caso de exposición (Ilustración 17).

Valores Indices de Calidad del Aire (ICA)	Niveles de cuidado para la salud	Colores
Cuando el ICA se encuentra en este rango:	Las condiciones son:	Simbolizado con el color
0 - 50	Bueno	Verde
51 -100	Moderado	Amarillo
101- 150	Desfavorable para grupos Sensibles	Naranja
151 - 200	Desfavorable	Rojo
201 - 300	Muy Desfavorable	Purpura
301 - 500	Peligroso	Marrón

Ilustración 16.- Codificación rangos ICA

Fuente:(Agency & Division, 2009; Environmental Protection Agency, 2011)

Indice de	Calidad del Aire General	Las condiciones de salud
0 - 50	Bueno	Sin Impactos para la salud en este rango
51 -100	Moderado	Personas inusualmente sensibles deberían considerar limitar su exposición.
101- 150	Desfavorable para grupos Sensibles	Los siguientes grupos deberian limitar su exposición. * Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma. * Niños y adultos mayores * Personas activas en exteriores
151 - 200	Desfavorable	Los siguientes grupos deberían limitar la exposición prolongada. * Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma. * Niños y adultos mayores * Personas activas en exteriores El resto de personas debe limitar exposiciones prolongadas en el exterior.
201 - 300	Muy Desfavorable	Los siguientes grupos deberían limitar la exposición prolongada. * Personas con problemas pulmonares, ejemplo asma. * Niños y adultos mayores * Personas activas en exteriores El resto de personas debe limitar exposiciones en el exterior.
301 - 500	Peligroso	Todos los grupos deben limitar lo más posible su exposición al ambiente

Ilustración 17.- Consideraciones a tomar ICA general

Fuente:(Agency & Division, 2009; Environmental Protection Agency, 2011)

Etapa IV Implementación de los paquetes de software open source para la habilitación de servicio SOS y cliente web.

En esta etapa se plantea la publicación web del índice de calidad del aire, que en este punto se encuentran calculado a nivel de base de datos, para lograr la presentación, gestión, consulta y monitoreo de la información de los contaminantes atmosféricos de la ciudad de Cuenca.

Una de las consideraciones tomadas en cuenta para la implementación es el uso de software open source principalmente en el cliente ligero SOS. Esto permite evitar costos de licenciamiento además de poder personalizar el cliente, y adaptarlo mejor a las prestaciones buscadas en la implementación de esta plataforma base de monitoreo y gestión de contaminantes atmosféricos de la ciudad de Cuenca. Otra consideración de vital importancia es que los servicios y el cliente cumplan con todas las especificaciones establecidas por OGC y SWE para el manejo e incorporación de sensores y la información generada por estos sensores. Finalmente, también se buscó presentar los datos de forma intuitiva y amigable para el usuario.

La arquitectura de los servicios implementados se basa en tres capas (Ilustración 18):

- Capa de recursos: Datos, que han sido almacenados en la base de datos PostGIS y descritos en las etapas II y III.
- Capa de servicios: SOS, implementado a partir de los siguientes software open source: Apache, Apache Ant, Eclipse, North52 SOS. Una explicación detallada de la instalación y funcionamiento de estos servicios se puede encontrar en: (Bröring et al., 2011; Enablement & Guide, 2012; Open Geospatial Consortium, n.d.-b) Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS)Capa de publicación: cliente SOS, implementado con el cliente OpenLayers, también de código abierto. El código fuente del cliente implementado se encuentra en Anexos.



Ilustración 18.- Arquitectura genérica propuesta cliente SOS

ETAPA V.- Pruebas de fiabilidad y funcionamiento.

Antes de proceder a la publicación web, se realizaron pruebas de funcionamiento para mejorar la interacción del usuario con la interface web. Además se realizaron pruebas de tiempos de descarga de datos provenientes del servidor central de la EMOV-EP y de tiempo de respuesta de la base de datos en periodos de consulta extensos, cuyos resultados son presentados en la siguiente sección.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

El principal resultado del desarrollo e implementación de esta tesis es una plataforma base para la gestión, monitoreo y publicación de los contaminantes atmosféricos de la ciudad (O3, CO, NO2, SO2, PM2.5). Este sistema se encuentra implementado en el servidor de la Universidad del Azuay bajo la infraestructura de datos espaciales (IDE-UDA) en el vínculo: http://gis.uazuay.edu.ec/OpenLayers-2.12/sos/

Accediendo a este vínculo, a primera vista, se observa el mapa de la ciudad de Cuenca con la localización de la estación de monitoreo con el área potencial que cubre la estación de monitoreo en tiempo real de la EMOV-EP (Ilustración 19). En la parte superior del cliente se encuentran los botones de consulta de los cinco contaminantes monitoreados

además del índice general de calidad ambiental ICAG. Entre las prestaciones establecidas en el cliente se encuentra la presentación del último registro ingresado en la base de datos, esto se realiza pulsando sobre el icono que representa el contaminante, lo que permite conocer el último valor registrado.

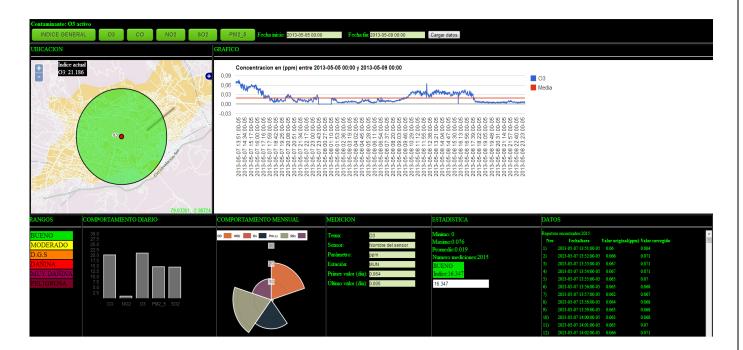


Ilustración 19.- Plataforma base de monitoreo

Otra prestación establecida en este cliente es la generación de la gráfica estadística del comportamiento de la variable contaminante en un periodo de tiempo (Ilustración 20). Esta grafica es asociada a dos tablas de datos, las cuales presentan los máximos, mínimos, promedio y número de mediciones de los valores consultados y los valores individuales de cada medición en el período de tiempo consultado (Ilustración 21).

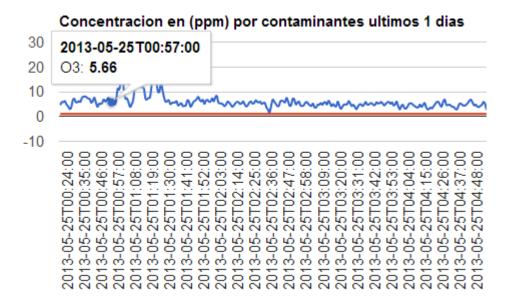


Ilustración 20.- Gráfica estadística comportamiento O3

Mínimo:	1.555
Máximo:	26.794
Promedio:	6.84
Numero mediciones:	516

Nro	Fecha	Valor(ppm)
1	2013-05-25T00:24:00	4.559
2	2013-05-25T00:25:00	5.79
3	2013-05-25T00:26:00	5.79
4	2013-05-25T00:27:00	6.135
5	2013-05-25T00:28:00	4.801
6	2013-05-25T00:29:00	4.122
7	2013-05-25T00:30:00	3.019
8	2013-05-25T00:31:00	3.559
9	2013-05-25T00:32:00	6.373
10	2013-05-25T00:33:00	7.129

Ilustración 21.- Valores consultados O3

Otra herramienta adicional del cliente es la posibilidad de consultar rangos entre fechas, herramienta que permite personalizar el reporte de acuerdo a las necesidades, pudiendo hacer consulta de registros históricos para establecer las condiciones registradas en un periodo de tiempo pasado (Ilustración 22)como por ejemplo: Estudiar los efectos de los procesos de inversión térmica, incendios forestales, efectos de la quema de monigotes en las festividades de año nuevo entre otros.

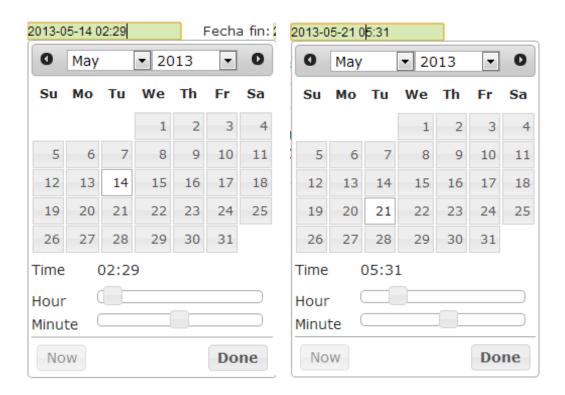


Ilustración 22.- Ejemplo consulta rango de fechas

Otra opción es que en función del valor índice obtenido, se puede consultar el significado del índice generado en la tabla de comparaciones, según el rango y color obtenido de la consulta. Esta codificación de colores viene asociada a un mensaje de alerta según cada rango especificando indicando las implicaciones a la salud del índice consultado, es decir los grupos sensibles y las precauciones que se debe tomar (Ilustración 23).



Ilustración 23.- Consulta implicaciones para la salud

Se presentan también gráficos estadísticos del comportamiento diario (Ilustración 24) de los contaminantes y el comportamiento mensual de estos (Ilustración 25). El comportamiento diario de los contaminantes registrados presenta los valores promedio de las observaciones registradas en el día de todos los contaminantes registrados, donde se puede ver la relación entre los contaminantes y las magnitudes que cada uno de estos. El gráfico del comportamiento mensual presenta los valores promedios calculados en todo el mes hasta el último valor observado, con esto se puede analizarel comportamiento de los contaminantes durante el mes y cuáles son los que más aportan en la construcción del índice de calidad ambiental general (ICAG).

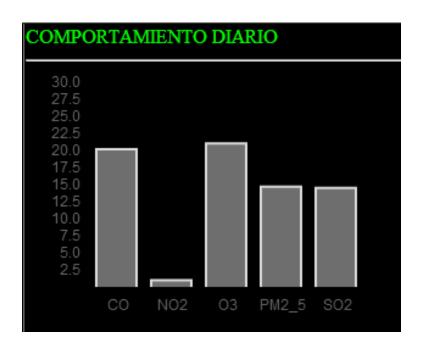


Ilustración 24. - Gráfico estadístico comportamiento diario

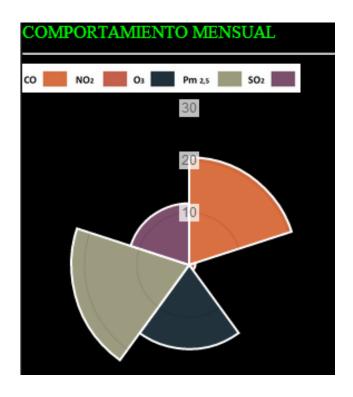


Ilustración 25.- Gráfico estadístico comportamiento mensual

Además durante el desarrollo de las diferentes etapas metodológicas se fueron obteniendo diferentes productos o resultados que llevaron a la consecución del objetivo principal de esta tesis, entre los que se destacan:

Un enlace de datos vía FTP con el servidor central de la EMOV-EP, lugar en donde se encuentra la base de datos de la estación de monitoreo MUN. Aunque no es la forma más eficiente para la adquisición de datos, proporciona la seguridad y cadencia de respuesta suficiente para poder asegurar la transmisión correcta de los datos. En desarrollos futuros dentro del convenio firmado entre la UDA y la EMOV-EP se encuentra la posibilidad de establecer un enlace directo de fibra óptica, que sería la solución óptima, ya que, se dispondría de la información de contaminantes de forma instantánea, es decir en tiempo real.

Se dispone de una geodatabase con una estructura capaz de soportar la información de los contaminantes y una estructura estandarizada en cumplimiento de la OGC y SWE que soporta SOS con la capacidad de registrar nuevos sensores, descripciones de los sensores, localización de los sensores y demás información necesaria para manejar adecuadamente un sistema de gestión de contaminantes atmosféricos. La información de la geodatabase se encuentra estandarizada y normalizada, esto es: la información se encuentra en las mismas unidades de medida y todas las

Sellers, 57

observaciones se encuentran corregidas con los parámetros locales de temperatura y presión

barométrica.

Para la presentación gráfica de los valores e índices de contaminación atmosférica, se utilizó el

cliente ligero OpenLayers SOS, que presta las necesidades básicas para gestión y presentación de

la información. Se optó por este cliente ya que es totalmente personalizable y se puede manipular

el código para presentar los datos, gráficos y reportes de forma que se ajuste a las necesidades

locales, aparte de ser mucho más fácil la implementación. Otros clientes que se revisaron no

presentaban un nivel personalización deseable en un sistema de estas características.

Se realizaron pruebas de tiempo de descargas vía FTP con el servidor de la EMOV-EP,

proporcionaron resultados de taza de transferencia promedio de 1.15 minutos, que no representan

una alta carga transaccional, por lo que este tipo de comunicación para la réplica de datos no es un factor relevante para el sistema, ya que presenta la seguridades del caso y los datos se pueden

acceder cada hora, con lo que la publicación de los índices se ajusta a las disponibilidad del

servidor remoto que en este caso sería de cada hora. Se tiene que recalcar que a mayor

disponibilidad de descarga de datos, mayor será la cadencia de presentación de los índices de

contaminación atmosférica en el cliente.

Para las pruebas de tiempo de respuesta y rendimiento se realizaron consultas entre rangos de

fechas que involucren un gran volumen de datos a ser consultados y presentados tanto en la base

de datos como en el cliente implementado, obteniendo los siguientes resultados:

Agente Consultado: OZONO

Rango de fechas:

Fecha inicial: 7 de mayo 2013

Fecha final:25 de mayo 2013

Número de registros consultados: 26382 registros

Tiempo estimado de respuesta base de datos: 0.713 segundos

Tiempo estimado de respuesta cliente: 0.15 segundos

Considerando la cantidad de registros obtenidos de la consulta, los tiempos de respuesta obtenidos están en rangos aceptables de rendimiento tanto para la base de datos como para el cliente SOS implementado. La gran cantidad de registros en el periodo seleccionado es debido a que se están registrando y visualizando los datos según como fueron ingresados por la estación de monitoreo, esto es cada segundo.

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido que tanto la ciudanía como el personal técnico y científico especializado de la EMOV-EP y de la CGA dispongan de una herramienta para la gestión, monitoreo y publicación de la calidad ambiental de la ciudad de Cuenca, en donde cada persona sin importar su nivel de conocimientos, puede acceder a los reportes de los contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo continuo. La interface es fácil de usar y la información se encuentra en formato de índices que son de fácil comprensión e intuitivos. Esta plataforma generada en la Universidad del Azuay, en el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador como proyecto de investigación, sirve de plataforma base para futuros desarrollos que mejoren su interface, extiendan las herramientas de gestión de la información, y aumenten las variables a ser monitoreadas como por ejemplo: los registros obtenidos de las estaciones de monitoreo pasivas, temperatura, radiación solar, presión barométrica, precipitación, radiación ultravioleta, ruido, índices de tráfico, e inclusive podría soportar observaciones proporcionadas por los mismos ciudadanos a partir de estaciones meteorológicas hogareñas o dispositivos móviles. Esta plataforma presenta el potencial de convertirse en una verdadera herramienta para la gestión ambiental y la toma de decisiones a nivel político y ambiental que aseguren el buen vivir de los cuencanos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (SIMAT), S. deMonitoreoAtmosférico. (n.d.-a). Monoxido de Carbono SIMAT.
- (SIMAT), S. deMonitoreoAtmosférico. (n.d.-b). Dioxido de Nitrogeno SIMAT.
- (SIMAT), S. deMonitoreoAtmosférico. (n.d.-c). OZONO SIMAT.
- (SIMAT), S. deMonitoreoAtmosférico. (n.d.-d). Particulas SIMAT.
- 52°North SOS data models. (n.d.). SosDataModeling SensorWeb TWiki.
- ACUERDO 050.pdf. (n.d.).
- Agency, U. S. E. P. (2012). Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants, (June).
- Agency, U. S. E. P., & Division, I. (2009). A Guide to Air Quality and Your Health, (August).
- Ahmad, S., Leptoukh, G., Johnson, J., Farley, J., & Kempler, S. (2007). Global Monitoring of Atmospheric Pollutants from the Aura Satellite.
- Atmosphere of Earth Wikipedia, the free encyclopedia. (n.d.-a). Dióxido de nitrógeno Wikipedia, la enciclopedia libre.
- Atmosphere of Earth Wikipedia, the free encyclopedia. (n.d.-b). Dióxido de azufre Wikipedia, la enciclopedia libre.
- Bröring, A. (n.d.). dataModel.
- Bröring, A., Echterhoff, J., Jirka, S., Simonis, I., Everding, T., Stasch, C., Liang, S., et al. (2011). *New generation Sensor Web Enablement. Sensors (Basel, Switzerland)* (Vol. 11, pp. 2652–99). doi:10.3390/s110302652
- Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *Lancet*, *360*(9341), 1233–42. doi:10.1016/S0140-6736(02)11274-8
- CFR-2000-title40-vol5-part58-appG.pdf. (n.d.).
- CONAGE. (2010). Políticas Nacionales de Información Geoespacial.
- Cox, S. (2010). Observation & Measurements, 20.
- Cox, S. (2011). Open Geospatial Consortium.
- Cox, S. (O & M. (2010). Open Geospatial Consortium Inc., 20.
- Ecured, E. C. en la red. (n.d.-a). Monóxido de Carbono EcuRed.
- Ecured, E. C. en la red. (n.d.-b). Dióxido de Nitrógeno EcuRed.

- Ecured, E. C. en la red. (n.d.-c). Ozono EcuRed.
- Ecured, E. C. en la red. (n.d.-d). Dióxido de azufre EcuRed.
- Ecured, E. C. en la red. (n.d.-e). Partícula EcuRed.
- Enablement, S. W., & Guide, I. (2012). [Installation guide]. *Le Chirurgien-dentiste de France*, *48*(36), 25–72. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18179057
- Environmental Protection Agency, E. (2011). Environmental Protection Agency (EPA). doi:10.1007/SpringerReference_32156
- Finlayson-pitts, B. J., & Pitts, J. N. (2000). Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere.
- Goddard Space Flight Center, N. (n.d.). Atmosphere Geophysical Models.
- H Congreso Nacional, C. D. L. Y. C. (n.d.). Ley de Prevencion y Control de la Contaminacion Ambiental.
- Havlik, D., Bleier, T., & Schimak, G. (2009). Sharing Sensor Data with SensorSA and Cascading Sensor Observation Service. Sensors (Basel, Switzerland), 9(7), 5493–502. doi:10.3390/s90705493
- Hidy. (1986). Subcontinental air pollution phenomena.
- Laden, F., Neas, L. M., Dockery, D. W., & Schwartz, J. (2000). Association of Fine Particulate Matter from Different Sources with Daily Mortality in Six U.S. Cities.
- Mintz, D. (n.d.). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality the Air Quality Index (AQI).
- Norma, D., & Calidad, E. De. (2003). Normaecuatorianadecalidaddelaire, 1-2.
- North, A. B., & Ifgi, C. S. (2012). Open Geospatial Consortium OGC ® Sensor Observation Service Interface Standard.
- Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS). (n.d.). Air Quality Now.
- Open Geospatial Consortium, O. (n.d.-a). Open Geospatial Consortium OGC(R).
- Open Geospatial Consortium, O. (n.d.-b). Sensor Observation Service OGC(R).
- Open Geospatial Consortium, O. (2012). Sensor Web Community Publications 2012.
- Pacheco, D. (2013). Infraestructuras de datos espaciales en dispositivos móviles inteligentes Autor : Diego Francisco Pacheco Prado Director : PhD Daniela Ballari.
- Percivall, G., Reed, C., & Davidson, J. (2007). Open Geospatial Consortium Inc. OGC White Paper OGC ® Sensor Web Enablement: Overview And High Level Architecture., (December), 1–14.
- Robinson, A. B., Ph, D., Robinson, N. E., Ph, D., Soon, W., & Ph, D. (n.d.). Efectos Ambientales de los Incrementos Atmosféricos de Dióxido de Carbono.

Rueda, C., & Gertz, M. (2008). Real-Time Integration of Geospatial Raster and Point Data Streams, 0619139, 605–611.

Sather, M. E., Slonecker, E. T., Mathew, J., Daughtrey, H., & Williams, D. D. (2007). Evaluation of ogawa passive sampling devices as an alternative measurement method for the nitrogen dioxide annual standard in El Paso, Texas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 124(1), 211–221. doi:10.1007/s10661-006-9219-4

Sistema deMonitoreoAtmosférico (SIMAT). (n.d.). Dioxido de Azufre SIMAT.

VI, T. L. (n.d.). libro vi Anexo 4, 402, 402–415.

Wikimedia Foundation. (n.d.-a). Atmosphere of Earth - Wikipedia, the free encyclopedia.

Wikimedia Foundation. (n.d.-b). Ionosphere - Wikipedia, the free encyclopedia.

Wikimedia Foundation. (n.d.-c). Contaminación atmosférica - Wikipedia, la enciclopedia libre.

Wikimedia Foundation. (n.d.-d). La Contaminación Atmosférica II.

Wikimedia Foundation. (n.d.-e). Monóxido de carbono - Wikipedia, la enciclopedia libre.

Wikimedia Foundation. (n.d.-f). PM10 - Wikipedia, la enciclopedia libre.

Wikimedia Foundation. (n.d.-g). Open Geospatial Consortium - Wikipedia, la enciclopedia libre.

Williams, D. (2004). Earth Fact Sheet. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD.

Windows to the Universe. (n.d.-a). The Troposphere.

Windows to the Universe. (n.d.-b). The Stratosphere.

Windows to the Universe. (n.d.-c). Mesosphere - Layer of Earth's Atmosphere.

Windows to the Universe. (n.d.-d). The Thermosphere.

Windows to the Universe. (n.d.-e). Ionosphere Constituents.

Windows to the Universe. (n.d.-f). The Exosphere.

Windows to the Universe. (n.d.-g). Ozono - Wikipedia, la enciclopedia libre.

7. ANEXOS

ANEXO 1.- CODIGO CREACION BASE DE DATOS

- --FILE CREATES TABLE STRUCTURE OF DATABASE
- -- Dropping Tables

DROP TABLE quality CASCADE;

DROP TABLE phenomenon CASCADE;

DROP TABLE observation CASCADE;

DROP TABLE offering CASCADE;

DROP TABLE phen_off CASCADE;

DROP TABLE proc_phen CASCADE;

DROP TABLE proc_foi CASCADE;

DROP TABLE proc_off CASCADE;

DROP TABLE procedure CASCADE;

DROP TABLE feature_of_interest CASCADE;

DROP TABLE request_phenomenon CASCADE;

DROP TABLE request CASCADE;

DROP TABLE observation_template CASCADE;

DROP TABLE composite_phenomenon CASCADE;

DROP TABLE com_phen_off CASCADE;

DROP TABLE foi_off CASCADE;

DROP TABLE request_composite_phenomenon CASCADE;

```
-- Creating the tables
-- tables for storing observations and metadata
-- Table: observation
-- represents observations
CREATE TABLE observation
 time_stamp timestamptz NOT NULL,
 procedure_id varchar(100) NOT NULL,
 feature_of_interest_id varchar(100) NOT NULL,
 phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
 text_value text,
 numeric_value numeric,
 spatial_value geometry,
 mime_type varchar(100),
 observation_id SERIAL,
 UNIQUE (time_stamp, procedure_id, feature_of_interest_id,phenomenon_id,offering_id),
 PRIMARY KEY(observation_id)
);
-- Table: quality
-- represents a quality element of an observation; must reference to an observation tuple
CREATE TABLE quality (
 quality_id SERIAL,
```

```
quality_name varchar(100),
 quality_unit varchar(100) NOT NULL,
 quality_value text NOT NULL,
 quality_type varchar(100) NOT NULL,
 PRIMARY KEY(quality_id),
 observation_id integer REFERENCES observation(observation_id) NOT NULL,
 CHECK (quality_type IN ('quantity','category','text'))
);
-- Table: offering
-- represents offerings, which aggregate either phenomena or features of interest
CREATE TABLE offering
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
 offering_name varchar(100),
 PRIMARY KEY (offering_id)
);
-- Table: feature_of_interest
-- represents the feature of interest of an observation
CREATE TABLE feature_of_interest
 feature_of_interest_id varchar(100) NOT NULL,
 feature_of_interest_name varchar(100) NOT NULL,
```

```
feature_of_interest_description varchar(200),
 geom geometry NOT NULL,
 feature_type text NOT NULL,
schema_link text,
 PRIMARY KEY (feature_of_interest_id)
);
-- Table: phenomenon
-- represents phenomena
CREATE TABLE phenomenon
 phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 phenomenon_description varchar(200),
 unit varchar(30) NOT NULL,
 valuetype varchar(40) NOT NULL,
 composite_phenomenon_id varchar(100),
 om_application_schema_link text,
 PRIMARY KEY (phenomenon_id),
 CHECK (valuetype IN ('booleanType', 'textType', 'categoryType', 'numericType', 'isoTimeType',
'spatialType', 'commonType', 'externalReferenceType'))
);
-- Table: composite phenomenon
-- represents composite phenomena (which are aggregations of single phenomena)
```

```
CREATE TABLE composite_phenomenon
 composite_phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 composite_phenomenon_description varchar(100),
 PRIMARY KEY (composite_phenomenon_id)
);
-- Table: procedure
-- represents the procedure which produces the observation values
CREATE TABLE procedure
 procedure_id varchar(100) NOT NULL,
 description_url varchar(200),
 description_type varchar(100),
 sml_file text,
 PRIMARY KEY (procedure_id)
);
--Table: phen_off
-- represents the m:n relationship between phenomena and offerings
CREATE TABLE phen_off
 phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
```

```
PRIMARY KEY (phenomenon_id,offering_id)
);
--Table: foi_off
-- represents the m:n relationship between features of interest and offerings
CREATE TABLE foi_off
 feature_of_interest_id varchar(100) NOT NULL,
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
 PRIMARY KEY (feature_of_interest_id,offering_id)
);
--Table: proc_off
-- represents the m:n relationship between features of interest and offerings
CREATE TABLE proc_off
 procedure_id varchar(100) NOT NULL,
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
 PRIMARY KEY (procedure_id,offering_id)
);
--Table: com_phen_off
-- represents the m:n relationship between composite phenomena and offerings
CREATE TABLE com_phen_off
```

```
composite_phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
 PRIMARY KEY (composite_phenomenon_id,offering_id)
);
-- Table: proc_phen
-- represents the m:n relationship between procedures and the phenomena the procedures measure
CREATE TABLE proc_phen
 procedure_id varchar(100) NOT NULL,
 phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 PRIMARY KEY (procedure_id,phenomenon_id)
);
-- Table: proc_foi
-- represents the m:n relationship between procedures and feature of interests
CREATE TABLE proc_foi
 procedure_id varchar(100) NOT NULL,
 feature_of_interest_id varchar(100) NOT NULL,
 PRIMARY KEY (procedure_id,feature_of_interest_id)
);
```

```
-- tables for get result operation
-- Table: observation_template
-- represents the observation templates for the get result operation
CREATE TABLE observation_template
 obs_template_id SERIAL,
 procedure_id varchar(100) NOT NULL,
 request_id int4 NOT NULL,
 observation_template text,
 PRIMARY KEY (obs_template_id)
);
-- Table: request_phenomenon
-- represents the m:n relationship between requests and phenomena
CREATE TABLE request_phenomenon
 phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 request_id int4 NOT NULL
);
-- Table: request_composite_phenomenon
-- represents the m:n relationship between requests and phenomena
CREATE TABLE request_composite_phenomenon
```

```
composite_phenomenon_id varchar(100) NOT NULL,
 request_id int4 NOT NULL
);
-- Table: request
-- represents the stored get result request
CREATE TABLE request
 request_id SERIAL,
 offering_id varchar(100) NOT NULL,
 request text NOT NULL,
 begin_lease timestamptz,
 end_lease timestamptz NOT NULL,
 PRIMARY KEY (request_id)
);
--add indices
CREATE INDEX textValueObsTable ON observation(text_value);
CREATE INDEX numericValueObsTable ON observation(numeric_value);
CREATE INDEX phenObsTable ON observation(phenomenon_id);
CREATE INDEX procObsTable ON observation(procedure_id);
CREATE INDEX foiObsTable ON observation(feature_of_interest_id);
CREATE INDEX offObsTable ON observation(offering_id);
CREATE INDEX spatial Value ObsTable Index ON observation USING
```

GIST (spatial_value GIST_GEOMETRY_OPS);

CREATE INDEX timeindexobstable ON observation USING btree (time_stamp, procedure_id, feature_of_interest_id, offering_id, phenomenon_id);

CREATE INDEX foiGeomIndex ON feature_of_interest USING

GIST (geom GIST_GEOMETRY_OPS);

- -- add references and foreign keys
- --foreign keys for observation table

ALTER TABLE observation ADD FOREIGN KEY (procedure_id) REFERENCES procedure ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE observation ADD FOREIGN KEY (feature_of_interest_id) REFERENCES feature_of_interest ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE observation ADD FOREIGN KEY (phenomenon_id) REFERENCES phenomenon ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE observation ADD FOREIGN KEY (offering_id) REFERENCES offering ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for phenomenon table

ALTER TABLE phenomenon ADD FOREIGN KEY (composite_phenomenon_id) REFERENCES composite_phenomenon ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for com_phen_off table

ALTER TABLE com_phen_off ADD FOREIGN KEY (composite_phenomenon_id) REFERENCES composite_phenomenon ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE com_phen_off ADD FOREIGN KEY (offering_id) REFERENCES offering ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for phen_off table

ALTER TABLE phen_off ADD FOREIGN KEY (phenomenon_id) REFERENCES phenomenon ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE phen_off ADD FOREIGN KEY (offering_id) REFERENCES offering ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for foi_off table

ALTER TABLE foi_off ADD FOREIGN KEY (feature_of_interest_id) REFERENCES feature_of_interest ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE foi_off ADD FOREIGN KEY (offering_id) REFERENCES offering ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for proc_phen table

ALTER TABLE proc_phen ADD FOREIGN KEY (phenomenon_id) REFERENCES phenomenon ON UPDATE CASCADE:

ALTER TABLE proc_phen ADD FOREIGN KEY (procedure_id) REFERENCES procedure ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for proc foi table

ALTER TABLE proc_foi ADD FOREIGN KEY (feature_of_interest_id) REFERENCES feature_of_interest ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE proc_foi ADD FOREIGN KEY (procedure_id) REFERENCES procedure ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE proc_off ADD FOREIGN KEY (offering_id) REFERENCES offering ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE proc_off ADD FOREIGN KEY (procedure_id) REFERENCES procedure ON UPDATE CASCADE;

--foreign keys for observation_template table

ALTER TABLE observation_template ADD FOREIGN KEY (procedure_id) REFERENCES procedure ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE observation_template ADD FOREIGN KEY (request_id) REFERENCES request ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE;

--foreign keys for request phenomenon table

ALTER TABLE request_phenomenon ADD FOREIGN KEY (phenomenon_id) REFERENCES phenomenon ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE request_phenomenon ADD FOREIGN KEY (request_id) REFERENCES request ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE:

--foreign keys for request_composite_phenomenon table

ALTER TABLE request_composite_phenomenon ADD FOREIGN KEY (composite_phenomenon_id) REFERENCES composite_phenomenon ON UPDATE CASCADE;

ALTER TABLE request_composite_phenomenon ADD FOREIGN KEY (request_id) REFERENCES request ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE;

--foreign keys for request table

ALTER TABLE request ADD FOREIGN KEY (offering_id) REFERENCES offering ON UPDATE CASCADE;

--function for getting timestamp as iso

CREATE OR REPLACE FUNCTION

iso_timestamp(timestamp with time zone)

RETURNS varchar as \$\$

SELECT replace(\$1,' ','T')||':00'::varchar

\$\$ language sql immutable;

ANEXO 2.- CODIGO PAGINA WEB

```
<!DOCTYPE
                        PUBLIC
                                    "-//W3C//DTD
                                                      XH.
                html
Transitional//EN"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1
transitional.dtd">
              <a href="http://www.w3.org/1999/xhtml">
              <head>
              <script type="text/javascript" src="http://code.jquery.com/jquery-1.9.1.min.js"></script>
              <script type="text/javascript" src="http://code.jquery.com/ui/1.10.3/jquery-</pre>
              ui.min.js"></script>
              <script type="text/javascript" src="./jquery/jquery-ui-timepicker-addon.js"></script>
              <script type="text/javascript" src="./jquery/jquery-ui-sliderAccess.js"></script>
              k rel="stylesheet" media="all" type="text/css"
              href="http://code.jquery.com/ui/1.10.3/themes/smoothness/jquery-ui.css" />
              k rel="stylesheet" media="all" type="text/css" href="./jquery/jquery-ui-timepicker-
              addon.css" />
              <script src="../lib/OpenLayers.js"></script>
              k rel="stylesheet" href="./estilo.css" type="text/css" />
              <script type="text/javascript" src="https://www.google.com/jsapi"></script>
              <script type="text/javascript">
              //----- LOCALIZEABLE GLOBALS -----
              var d=new Date();
              var monthname=new
              Array("January", "February", "March", "April", "May", "June", "July", "August", "September", "
              October", "November", "December");
              //Ensure correct for language. English is "January 1, 2004"
              var TODAY = monthname[d.getMonth()] + " " + d.getDate() + ", " + d.getFullYear();
              $(function() {
              $('#fecha1').datetimepicker({
              changeMonth: true,
              changeYear: true
```

```
});
$('#fecha1').datetimepicker('option', {dateFormat: 'yy-mm-dd'});
});
$(function() {
$('#fecha2').datetimepicker({
changeMonth: true,
changeYear: true
});
$('#fecha2').datetimepicker('option', {dateFormat: 'yy-mm-dd'});
});
</script>
<script type="text/javascript">
google.load("visualization", "1", {packages:["corechart"]});
OpenLayers.Lang.setCode('es');
var map;
var ini,fin;
var contaminante;
var nombrec;
var c1=";
var c2=";
var rowsc1 = [];
var rowsc2 = [];
var rows1 = [];
var vectorLayer;
//vectores_graficos
var fcon=[];
```

```
var vcon=[];
var mcon=[];
//
OpenLayers.ProxyHost = "http://gis.uazuay.edu.ec/cgi-bin/proxy.cgi?url=";
OpenLayers.Util.extend(OpenLayers.Lang.en,
{
'SOSClientType': "Medición",
'SOSClientTime': "Fecha",
'SOSClientLastvalue': "Ultimo valor"
}
);
* Example class on how to put all the OpenLayers SOS pieces together
*/
OpenLayers.SOSClient = OpenLayers.Class({
url: null,
map: null,
defaultProjection: new OpenLayers.Projection("EPSG:4326"),
capsformat: new OpenLayers.Format.SOSCapabilities(),
obsformat: new OpenLayers.Format.SOSGetObservation(),
timeRange: 1,
* constructor of this class
*/
initialize: function (options) {
OpenLayers.Util.extend(this, options);
```

```
var params = {'service': 'SOS', 'request': 'GetCapabilities'};
var paramString = OpenLayers.Util.getParameterString(params);
url = OpenLayers.Util.urlAppend(this.url, paramString);
OpenLayers.Request.GET({
url: url,
crossDomain: true,
dataType: 'jsonp',
success: this.parseSOSCaps,
scope: this});
},
* parses the capabilities of the SOS
parseSOSCaps: function(response) {
var s = new OpenLayers.Style({
'pointRadius': 6,
'fillColor': '#F80000',
'label': "${name}",
'fontSize': "12px",
'fontFamily': "Courier New, monospace",
'fontWeight': "bold",
'labelAlign': "rb",
'labelXOffset': "-10",
// 'labelYOffset': "-15",
'labelOutlineColor': "white",
'labelOutlineWidth': "3"
```

```
});
var styleMap = new OpenLayers.StyleMap(s);
// cache capabilities for future use
this.SOSCapabilities = this.capsformat.read(response.responseXML ||
response.responseText);
this.layer = new OpenLayers.Layer.Vector("CO2", {
strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
protocol: new OpenLayers.Protocol.SOS({
formatOptions: {internalProjection: map.getProjectionObject(), externalProjection:
this.defaultProjection},
url: this.url,
fois: this.getFois(1)
}),
styleMap: styleMap
});
//this.map.addLayer(this.layer);
/* this.map.addLayer(this.layer);
this.ctrl = new OpenLayers.Control.SelectFeature(this.layer,
{scope: this, onSelect: this.onFeatureSelect});
this.map.addControl(this.ctrl);
this.ctrl.activate();*/
//-----
this.layer1 = new OpenLayers.Layer.Vector("O3", {
strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
protocol: new OpenLayers.Protocol.SOS({
formatOptions: {internalProjection: map.getProjectionObject(), externalProjection:
this.defaultProjection},
```

```
url: this.url,
fois: this.getFois(5)
}),
styleMap: styleMap
});
this.map.addLayer(this.layer1);
//-----
this.layer2 = new OpenLayers.Layer.Vector("CO", {
strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
protocol: new OpenLayers.Protocol.SOS({
formatOptions: {internalProjection: map.getProjectionObject(), externalProjection:
this.defaultProjection},
url: this.url,
fois: this.getFois(1)
}),
styleMap: styleMap
});
this.map.addLayer(this.layer2);
//-----
this.layer3 = new OpenLayers.Layer.Vector("NO2", {
strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
protocol: new OpenLayers.Protocol.SOS({
formatOptions: {internalProjection: map.getProjectionObject(), externalProjection:
this.defaultProjection},
url: this.url,
```

```
fois: this.getFois(2)
}),
styleMap: styleMap
});
this.map.addLayer(this.layer3);
//-----
this.layer4 = new OpenLayers.Layer.Vector("SO2", {
strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
protocol: new OpenLayers.Protocol.SOS({
formatOptions: {internalProjection: map.getProjectionObject(), externalProjection:
this.defaultProjection},
url: this.url,
fois: this.getFois(3)
}),
styleMap: styleMap
});
this.map.addLayer(this.layer4);
//----
this.layer5 = new OpenLayers.Layer.Vector("PM2_5", {
strategies: [new OpenLayers.Strategy.Fixed()],
protocol: new OpenLayers.Protocol.SOS({
formatOptions: {internalProjection: map.getProjectionObject(), externalProjection:
this.defaultProjection},
url: this.url,
fois: this.getFois(4)
```

```
}),
styleMap: styleMap
});
this.map.addLayer(this.layer5);
//-----
this.ctrl = new
OpenLayers.Control.SelectFeature([this.layer,this.layer1,this.layer2,this.layer3,this.lay
er4,this.layer5],
{scope: this, onSelect: this.onFeatureSelect});
this.map.addControl(this.ctrl);
this.ctrl.activate();
apagar_capas();
},
* returns the FOI of the SOS
*/
getFois: function(indice) {
var result = [];
this.offeringCount = 0;
for (var name in this.SOSCapabilities.contents.offeringList) {
var offering = this.SOSCapabilities.contents.offeringList[name];
this.offeringCount++;
//for (var i=0, len=offering.featureOfInterestIds.length; i<len; i++) {
for (var i=indice, len=offering.featureOfInterestIds.length; i<indice+1; i++) {
var foi = offering.featureOfInterestIds[i]
//alert(name + ' ' + foi);
if (OpenLayers.Util.indexOf(result, foi) === -1) {
```

```
result.push(foi);
}
}
}
return result;
},
* returns the observed property (phenomenon) as a title
*/
getTitleForObservedProperty: function(property) {
for (var name in this.SOSCapabilities.contents.offeringList) {
var offering = this.SOSCapabilities.contents.offeringList[name];
if (offering.observedProperties[0] === property) {
return offering.name;
}
}
},
* 2012-02-23 11:49:00
*/
getFormattedDateFromTimePos: function(timePos) {
/*if (isNaN(timePos))
{timePos='2013-01-01T01:01:00.000Z';}*/
timePos=timePos.substring(0,19);
// alert("time:" + timePos);
/* var date = new Date(Date.parse(timePos));
```

```
alert("date:" + date);
var formattedString = date.format("isoDate") + " " + date.format("isoTime");
return formattedString;*/
return timePos;
},
* 2012-02-22T19:00:00+00:00
*/
getGmlTimeperiod: function() {
var today = new Date();
if (document.getElementById('fecha1').value==")
{
begin = new Date("2013-05-25 00:23:00");
}
else
{
begin=new Date(document.getElementById('fecha1').value);
}
if (document.getElementById('fecha2').value==")
{
end = new Date("2013-05-25 09:00:00");
}
else
end=new Date(document.getElementById('fecha2').value);
}
```

```
// alert( begin.format("isoDateTime") + ' ' + end.format("isoDateTime"));
//end.setDate(today.getDate() + 1);
//begin.setDate(today.getDate() - this.timeRange);
var timeperiod = "<eventTime>" +
"<ogc:TM_During>" +
"<ogc:PropertyName>om:samplingTime</ogc:PropertyName>" +
"<gml:TimePeriod>" +
"<gml:beginPosition>" + begin.format("isoDateTime") + "
/ "
"<gml:endPosition>" + end.format("isoDateTime") + "</gml:endPosition>" +
"</gml:TimePeriod>" +
"</ogc:TM_During>" +
"</eventTime>";
return timeperiod;
},
* opens up the popup with the last measured value
*/
showPopup: function(response) {
this.count++;
var output = this.obsformat.read(response.responseXML || response.responseText);
if (output.measurements.length > 0) {
var timePos = output.measurements[0].samplingTime.timeInstant.timePosition;
var formattedString = this.getFormattedDateFromTimePos(timePos);
this.html += '';
this.html += '<td
width="100">'+output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCas
```

```
e()+'';
this.html += ''+ formattedString +' ';
this.html += ''+output.measurements[0].result.value + ' ' +
output.measurements[0].result.uom + ';
this.html += '';
}
// check if we are done
if (this.count === this.numRequests) {
var html = '';
html += '';
//alert(contaminante);
html += '<b>'+OpenLayers.i18n('SOSClientType')+'</b>';
//html += '<b><div id="nombrec"></div></b>';
html += '<b>'+OpenLayers.i18n('SOSClientTime')+'</b>';
html += '<b>'+OpenLayers.i18n('SOSClientLastvalue')+'</b>';
html += '';
html += this.html;
//alert(this.html);
html += '';
var popup = new OpenLayers.Popup.FramedCloud("sensor",
this.feature.geometry.getBounds().getCenterLonLat(),
null,
html,
null,
true,
function(e) {
```

```
this.hide();
OpenLayers.Event.stop(e);
// unselect so popup can be shown again
this.map.getControlsByClass('OpenLayers.Control.SelectFeature')[0].unselectAll();
}
);
this.feature.popup = popup;
this.map.addPopup(popup);
}
},
* draws a chart with the measured values with google charts
drawChart: function (response) {
var tabla_datos="";
tabla_datos= tabla_datos +
"Nro<b>Fecha</b><b>Valor(ppm)</b>";
document.getElementById("respuesta").value=response.responseText
var output = this.obsformat.read(response.responseXML || response.responseText);
var ultimo;
var minimo, maximo, primero;
var promedio=0;
//alert("Mediciones: " + output.measurements.length);
if (output.measurements.length > 0) {
var data = new google.visualization.DataTable();
var data1 = new google.visualization.DataTable();
```

```
data.addColumn('string', 'Date');
data1.addColumn('string', 'Date', 'string');
//alert(output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase());
contaminante=
output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase();
data.addColumn('number',
output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase());
data1.addColumn('number',
output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase());
data1.addColumn('number',
output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase());
var rows = [];
// a look-up object for different time formats
var timeMap = {};
for(var i=0; i<output.measurements.length; i++) {
promedio=promedio + parseFloat(output.measurements[i].result.value);
var timePos = output.measurements[i].samplingTime.timeInstant.timePosition;
//alert(timePos);
var formattedString = this.getFormattedDateFromTimePos(timePos);
//alert(formattedString); //no llego
timeMap[formattedString] = timePos;
if(i==0)
{ini=timePos;minimo=parseFloat(output.measurements[i].result.value);maximo=parseF
loat(output.measurements[i].result.value);primero=parseFloat(output.measurements[i].
result.value);}
//obtener minimo y maximo
if (minimo>parseFloat(output.measurements[i].result.value))
{minimo=parseFloat(output.measurements[i].result.value);}
if (maximo<parseFloat(output.measurements[i].result.value))</pre>
```

```
{maximo=parseFloat(output.measurements[i].result.value);}
//
if(i==output.measurements.length-1)
{ultimo=parseFloat(output.measurements[i].result.value);}
rows.push([formattedString, parseFloat(output.measurements[i].result.value)])
rows1.push([formattedString, parseFloat(output.measurements[i].result.value),
parseFloat(1)])
tabla_datos= tabla_datos + "" + (i+1) + "   " +
formattedString + "   " +
parseFloat(output.measurements[i].result.value) + "";
}
/*capturo 2 contaminantes
if (c1==")
{
c1=(output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase());
rowsc1=rows1;
}
if (output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase()!=c1 &&
c1!=")
{
c2=output.measurements[0].fois[0].features[0].attributes.name.toUpperCase();
rowsc2=
}
document.getElementById('2c').innerHTML=c1 + " " + c2; */
//--
promedio=redondeo2decimales(promedio/(output.measurements.length-1));
tabla_datos= tabla_datos + "";
document.getElementById('valores').innerHTML=tabla_datos;
```

```
document.getElementById('valores1').innerHTML="Minimo: " + minimo +
"<br/>br>Maximo:" + maximo + "<br/>br>Promedio:" + promedio + "<br/>br>Numero mediciones:"
+ (output.measurements.length);
document.getElementById('primero').innerHTML=primero;
document.getElementById('ultimo').innerHTML=ultimo;
mensaje_indice(nombrec,ultimo);
// Compare "a" and "b" to sort time, and return -1, 0, or 1
function sortfunction(a, b){
var t1 = Date.parse(timeMap[a[0]]);
var t2 = Date.parse(timeMap[b[0]]);
if(t1 > t2) {
return 1;
}
else {
return -1;
}
}
rows.sort(sortfunction);
rows1.sort(sortfunction);
// add sorted data
data.addRows(rows);
data1.addRows(rows1);
//alert("inicio:" + ini + " Fin:" + timePos);
// draw the chart
//crear funcion para obtener el valor minimo y maximo
var chartOptions = {
title: "Concentracion en (ppm) por contaminantes ultimos " + this.timeRange + " dias",
```

```
curveType: 'function',
hAxis: {slantedTextAngle: 90},
chartArea: {left:60, top:40, width: "800", height: "100"},
vAxis: {minValue: -1, maxValue: 1}
};
var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
//chart.draw(data, chartOptions);
chart.draw(data1, chartOptions);
}
},
* select handler called by clicking on a feature
onFeatureSelect: function(feature) {
this.feature = feature;
this.count = 0;
this.html = ";
this.numRequests = this.offeringCount;
if (!this.responseFormat) {
for (format in
this. SOSC apabilities. operations Metadata. Get Observation. parameters. response Format this source of the control of the 
.allowedValues) {
// look for a text/xml type of format
if (format.indexOf('text/xml') >= 0) {
this.responseFormat = format;
}
}
```

```
}
// do a GetObservation request to get the latest values
for (var name in this.SOSCapabilities.contents.offeringList) {
if (name=='CONCENTRACION_' + document.getElementById('cactual').value)
{
var offering = this.SOSCapabilities.contents.offeringList[name];
var foi = {objectId: feature.attributes.id};
var xml = this.obsformat.write({
eventTime: 'latest',
resultModel: 'om:Measurement',
responseMode: 'inline',
procedure: feature.attributes.id,
foi: foi,
offering: name,
observedProperties: offering.observedProperties,
responseFormat: this.responseFormat
});
OpenLayers.Request.POST({
url: this.url,
crossDomain: true,
dataType: 'jsonp',
scope: this,
failure: this.showPopup,
success: this.showPopup,
data: xml
```

```
});
// get a time range for chart
var xml2 = this.obsformat.write({
eventTime: 'first',
resultModel: 'om:Measurement',
responseMode: 'inline',
procedure: feature.attributes.id,
foi: foi,
offering: name,
observedProperties: offering.observedProperties,
responseFormat: this.responseFormat
});
var timeperiodXml = this.getGmlTimeperiod();
//alert(timeperiodXml);
// a little rework due to missing timeperiod in OL-Format
xml2 = xml2.replace("xmlns:ogc=\"http://www.opengis.net/ogc\"",
"xmlns:ows=\"http://www.opengis.net/ows/1.1\"
xmlns:ogc=\"http://www.opengis.net/ogc\" xmlns:gml=\"http://www.opengis.net/gml\"")
xml2 = xml2.replace("version=\"1.0.0\"", "version=\"1.0.0\"
srsName=\"urn:ogc:def:crs:EPSG::4326\"")
//-----
xml2 = xml2.replace("<eventTime/>", timeperiodXml);
//
document.getElementById("resultado").value=xml2;
OpenLayers.Request.POST({
url: this.url,
scope: this,
```

```
crossDomain: true,
dataType: 'jsonp',
success: this.drawChart,
failure: function() {
alert("No data for charts...");
},
data: xml2
});
}
}
},
*/
destroy: function () {
},
*/
CLASS_NAME: "OpenLayers.SOSClient"
});
* initializes this client
*/
function init() {
map = new OpenLayers.Map( 'map');
```

```
// map = new OpenLayers.Map( 'map', {projection: new
OpenLayers.Projection('EPSG:900913')});
var baseLayer = new OpenLayers.Layer.WMS( "Base",
"http://vmap0.tiles.osgeo.org/wms/vmap0",
{layers: 'basic', isBaseLayer:false});
var lb= new OpenLayers.Layer.WMS(
"Provincias",
"http://www.geoportaligm.gob.ec/nacional/wms",
{'layers': 'igm:provincias', transparent: true}
);
//-----
var layer0 = new OpenLayers.Layer.WMS(
"Cuenca",
"http://gis.uazuay.edu.ec:8080/geoserver/cuenca/wms",
{layers: "cuenca:vias_canton_cuenca_5k",format: 'image/png', transparent: true},
{visibility: true}
);
var sos = new OpenLayers.SOSClient({map: map, url:
'http://gis.uazuay.edu.ec:8080/52nSOSv3.5.0/sos?'});
map.addLayers([baseLayer,lb,layer0]);
map.setCenter(new OpenLayers.LonLat(-79.00313,-2.89745), 13);
map.addControl( new OpenLayers.Control.LayerSwitcher() );
map.addControl( new OpenLayers.Control.MousePosition() );
//capa
vectorLayer = new OpenLayers.Layer.Vector('AID', {
styleMap: new OpenLayers.StyleMap({
```

```
"default": new OpenLayers.Style({
pointRadius: "${radius}",
fillColor: '${rcolor}',
fillOpacity: 0.5,
strokeColor: '#000000',
strokeWidth: 2,
strokeOpacity: 4.0
})
})
});
map.addLayer(vectorLayer);
dibujar_aid('#0000ff');
}
function sos1()
{
var sos1 = new OpenLayers.SOSClient({map: map, url:
'http://gis.uazuay.edu.ec:8080/52nSOSv3.5.0/sos?'});
}
function revisar_estado_capas(nombre)
apagar_capas();
for(var i=0;i<map.layers.length;i++)</pre>
{
tmpname=map.layers[i].name;
if (tmpname==nombre)
{
```

```
map.layers[i].setVisibility(true);
}
}
function apagar_capas()
{
for(var i=0;i<map.layers.length;i++)</pre>
{
tmpname=map.layers[i].name;
if (tmpname!='Provincias' && tmpname!='Cuenca' && tmpname!='Base' &&
tmpname!='AID')
{
map.layers[i].setVisibility(false);
}
}
}
function activar_contaminante(nombre)
{
document.getElementById('title').innerHTML='Contaminante: ' + nombre + ' activo';
document.getElementById('cactual').value=nombre;
nombrec=nombre;
revisar_estado_capas(nombre);
evaluar_contaminantes();
}
function mensaje_indice(nombre,valor)
{
```

```
document.getElementById('indice').style.backgroundColor='#9597FF';
document.getElementById('indice').innerHTML='Contaminante: ' + nombre + '<br>
Valor: + valor;
}
function redondeo2decimales(numero)
{
var original=parseFloat(numero);
var result=Math.round(original*100)/100;
return result;
}
function cargar_tabla() {
var busc= document.getElementById("mapa");
var c1=document.getElementByld("cactual").value;
if (c1==")
{alert('Seleccione el contaminante.'); return;}
var f1=document.getElementById('fecha1').value;
if (f1==")
{alert('Seleccione la fecha de inicio.'); return;}
var f2=document.getElementById('fecha2').value;
if (f2==")
{alert('Seleccione la fecha de fin.'); return;}
document.getElementById('cargando').style.display='box';
document.getElementById('cargando').style.visibility='visible';
var urljq='./libuda/ajax.php?id=311&contaminante=' + c1 +'&fini=' + f1 + '&ffin=' + f2;
//alert(urljq);
var request = OpenLayers.Request.GET({
```

```
url: urljq,
callback: handler_datos
});
}
function handler_datos(request) {
var busc= document.getElementById("valores");
busc.innerHTML= request.responseText;
rows1=[];
eval(document.getElementById('js').innerHTML);
dibujar_grafico();
document.getElementById('cargando').style.visibility='hidden';
document.getElementById('cargando').style.display='none';
//dibujar_grafico1();
}
function dibujar_grafico()
{
var c1=document.getElementById("cactual").value;
var data = new google.visualization.DataTable();
data.addColumn('string', 'Date');
data.addColumn('number', c1);
data.addColumn('number', 'Media');
data.addRows(rows1);
//alert("inicio:" + ini + " Fin:" + timePos);
// draw the chart
//crear funcion para obtener el valor minimo y maximo
var rango='n';
```

```
var chartOptions = {
title: "Concentracion en (ppm) entre " + document.getElementByld('fecha1').value + ' y
' + document.getElementById('fecha2').value,
curveType: 'function',
hAxis: {slantedTextAngle: 90},
chartArea: {left:60, top:40, width: "800", height: "100"}
// vAxis: {minValue: -0.5, maxValue: 0.5}
};
var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
//chart.draw(data, chartOptions);
chart.draw(data, chartOptions);
rows1=[];
}
function dibujar_aid(color)
{
vectorLayer.removeAllFeatures();
var feature = new OpenLayers.Feature.Vector(
new OpenLayers.Geometry.Point(-79.00307, -2.89736),
{
radius: 125,
rcolor: color
}
);
vectorLayer.addFeatures([feature]);
// map.zoomToExtent(vectorLayer.getDataExtent());
}
```

```
function evaluar_contaminantes()
{
var urljq='./libuda/ajax.php?id=313';
var request = OpenLayers.Request.GET({
url: urljq,
callback: handler_evaluarc
});
}
function handler_evaluarc(request) {
var valorc=0;
var nombrec="";
var colorc="";
var tmp=request.responseText;
datos=tmp.split(";");
for (var i=0;i<datos.length-1;i++)
{
//evaluo contaminante actual
var tmp1=datos[i].split(",");
if (document.getElementById('cactual').value==tmp1[0])
{
//alert(datos[i]);
document.getElementById('iactual').innerHTML="Indice actual <br/>br>" + tmp1[0] + ":" +"
" + tmp1[1];
dibujar_aid(tmp1[2]);
}
//obtendo el mayor para el indice general
```

```
if (document.getElementById('cactual').value=='INDICE GENERAL')
{
if (i==0)
{valorc=tmp1[1]*1;nombrec=tmp1[0];colorc=tmp1[2];}
else
{
if (tmp1[1]*1>=valorc)
{
valorc=tmp1[1]*1;
nombrec=tmp1[0];
colorc=tmp1[2];
}
document.getElementById('iactual').innerHTML="Indice actual <br/>br>" + nombrec + ":"
+" " + valorc;
dibujar_aid(colorc);
}
}
}
</script>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
<IMG SRC='./img/logo.png'>
<title>ESTACION DE MEDICIÓN DE CONTAMINANTES</title>
</head>
<body onload="init()">
```

```
<br/><br/>b id="title">Contaminantes</b><br/>
<input type='button' value='INDICE GENERAL' class='contaminantes'
onClick='activar contaminante(this.value);'>
<input type='button' value='O3' class='contaminantes'
onClick='activar contaminante(this.value);'>
<input type='button' value='CO' class='contaminantes'
onClick='activar_contaminante(this.value);'>
<input type='button' value='NO2' class='contaminantes'
onClick='activar contaminante(this.value);'>
<input type='button' value='SO2' class='contaminantes'
onClick='activar_contaminante(this.value);'>
<input type='button' value='PM2 5' class='contaminantes'
onClick='activar contaminante(this.value);'>
<input type='hidden' id='cactual'>
Fecha inicio: <input type="text" style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-
size:12px;" name="fecha1" id="fecha1" size="25"/>    Fecha
fin:<input type="text" style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-size:12px;"
name="fecha2" id="fecha2" size="25"/>
<input type='button' value='Cargar datos' onClick='cargar_tabla();'>
UBICACION<HR><div id="map" class="sosmap">
<div id='iactual' style='z-
index:5000;position:absolute;top:200px;left:80px;color:white;background-
color:black;'>INDICE</div>
</div>td>
```

```
GRAFICO<hr>
<img id='cargando' src='./img/loading.gif' style='visibility:hidden;'>
<div id="chart_div" class="chart" style='width:100%;height:400px;overflow-
x:hidden;overflow-y:scroll;'></div>
<div id='rampa'>RANGOS<HR>
BUENO
MODERADO
D.G.S
DAÑINA
MUY DAÑINA
PELIGROSA
</div>
COMPORTAMIENTO DIARIO<HR>
<iframe src="./bar.html" frameborder="0" marginwidth="0" marginheight="0"
width='300' height='300'></iframe>
COMPORTAMIENTO MENSUAL<HR>
```

```
<iframe src="./bar1.html" frameborder="0" marginwidth="0" marginheight="0"
width='300' height='300'></iframe>
MEDICION<HR>
Tema:input type='text' id='tema' readonly='readonly'
style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-size:12px;">
Sensor:<input type='text' id='sensor' readonly='readonly'
style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-size:12px;">
Parámetro:<input type='text' id='parametro'
readonly='readonly' style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-
size:12px;">
Estación:einput type='text' id='estacion' readonly='readonly'
style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-size:12px;">
Primer valor (día):<input type='text' id='primero'
readonly='readonly' style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-
size:12px;">
Ú Itimo valor (dí a): <input type='text' id='ultimo'
readonly='readonly' style="background-color: #D7EAB3; border:none;font-
size:12px;">
ESTADISTICA<HR>
<div id='valores1' style='width:300px;'></div>
<div id='indice'></div>
DATOS<HR>
<div id='valores' style='height:300px;overflow-x:hidden;overflow-y:scroll;font-</p>
size:12px;'></div>
```

```
 
 
<div id="docs">
</div>
PETICION SOS<BR>
<textarea id="resultado" rows="10" cols='50'></textarea>
RESPUESTA SOS<BR>
<textarea id="respuesta" rows="10" cols='50'></textarea>
<input type='button' onClick='sos1();' value='Contaminante'>
</body>
</html>
```

ANEXO 3. NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE LIBRO VI ANEXO 4

INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece: Los objetivos de calidad del aire ambiente.

Los métodos y procedimientos a la determinación de los contaminantes en el aire ambiente.

1 OBJETO

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar 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 máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.

2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

2.1 Aire

O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

2.2 Chimenea

Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

2.3 Combustión

Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

2.4 Condiciones de referencia

Veinticinco grados centígrados (25 °C) y setecientos sesenta milímetros de mercurio de presión (760 mm Hg).

2.5 Contaminante del aire

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

2.6 Contaminantes comunes del aire

Cualquier contaminante del aire para los cuales, en esta norma, se especifica un valor máximo de concentración permitida a nivel del suelo en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo.

2.7 Contaminante peligroso del aire

Son aquellos contaminantes del aire no contemplados en esta norma pero que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente. Algunos de estos contaminantes, pero que no se limitan a los mismos, son asbesto, berilio, mercurio, benceno, cloruro de vinilo.

2.8 Contaminación del aire

La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

2.9 Diámetro aerodinámico

Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión.

2.10 Emisión

La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

2.11 Episodio crítico de contaminación del aire

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos.

2.12 Fuente fija de combustión

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

2.13 ISO

Organización Internacional para la Normalización.

2.14 Línea base

Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

2.15 Material particulado

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como PM2,5 al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como PM10 al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones.

2.16 Micrón

Millonésima parte de un metro.

2.17 Monitoreo

Es el proceso programado de colectar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

2.18 Nivel de fondo (background)

Denota las condiciones ambientales imperantes antes de cualquier perturbación originada en actividades humanas, esto es, sólo con los procesos naturales en actividad.

2.19 Norma de calidad de aire

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire

ambiente se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

2.20 Norma de emisión

Es el valor que señala la descarga máxima permisible de los contaminantes del aire definidos.

2.21 Olor ofensivo

Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce molestia aunque no cause daño a la salud humana.

2.22 Partículas Sedimentables

Material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones, y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

2.23 US EPA

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

3 CLASIFICACIÓN

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación:

Norma de calidad de aire ambiente

- a. Contaminantes del aire ambiente.
- b. Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente.
- c. Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.
- d. Métodos de medición de concentración de contaminantes comunes del aire ambiente.
- e. De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire.

•

- 4 REQUISITOS
- 4.1 Norma de calidad de aire ambiente
- 4.1.1 De los contaminantes del aire ambiente
- 4.1.1.1 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes comunes del aire ambiente a los siguientes:

Partículas Sedimentables.

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia

PM10.

Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos)

micrones. Se abrevia PM2,5.

Óxidos de Nitrógeno: NO y NO2, y expresados como NO2.

Dióxido de Azufre SO2.

Monóxido de Carbono.

Oxidantes Fotoquímicos, expresados como Ozono.

- 4.1.1.2 La Entidad Ambiental de Control verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel de suelo en el aire ambiente de los contaminantes comunes no excedan los valores estipulados en esta norma. Dicha Entidad quedará facultada para establecer las acciones necesarias para, de ser el caso de que se excedan las concentraciones de contaminantes comunes del aire, hacer cumplir con la presente norma de calidad de aire. Caso contrario, las acciones estarán dirigidas a prevenir el deterioro a futuro de la calidad del aire.
- 4.1.1.3 La responsabilidadde la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, tendrán como referencia a aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50).
- 4.1.1.4 La Entidad Ambiental de Control deberá demostrar, ante el Ministerio del Ambiente, que sus equipos, métodos y procedimientos responden a los requerimientos descritos en esta norma. De existir alguna desviación con respecto a la norma, se deberá efectuar la debida justificación técnica a fin de establecer la validez, en uso oficial, de los resultados a obtenerse en la medición de

concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. La información que se recabe, como resultado de los programas públicos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire, serán de carácter público.

4.1.1.5 La Entidad Ambiental de Control establecerá sus procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente en la región bajo su autoridad. Así mismo, la Entidad Ambiental de Control deberá definir la frecuencia y alcance de los trabajos, tanto de auditoría interna como externa, para su respectivo sistema de monitoreo de calidad de aire ambiente.

4.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente

4.1.2.1 Para los contaminantes comunes del aire, definidos en 4.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. El Ministerio del Ambiente establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Entidad Ambiental de Control utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.

Partículas sedimentables.- La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm2 x 30 d).

Material particulado menor a 10 micrones (PM10).- El promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 μg/m3). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150 μg/m3), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Material particulado menor a 2,5 micrones (PM2,5).- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de PM2,5 de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 μg/m3). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico (65 μg/m3), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Dióxido de azufre (SO2).- El promedio aritmético de la concentración de SO2 determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico (80

Sellers, 112

μg/m3). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos

por metro cúbico (350 µg/m3), más de una vez en un año.

Monóxido de carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono de las muestras

determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil

microgramos por metro cúbico (10 000 μg/m3) más de una vez en un año. La concentración

máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por

metro cúbico (40 000 µg/m3) más de una vez en un año.

Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono.- La máxima concentración de oxidantes

fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de una hora, no deberá exceder de

ciento sesenta microgramos por metro cúbico (160 µg/m3), más de una vez en un año. La máxima

concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de ocho

horas, no deberá exceder de ciento veinte microgramos por metro cúbico (120 μg/m3), más de una vez

en un año.

Óxidos de nitrógeno, expresados como NO2.- El promedio aritmético de la concentración

de óxidos de nitrógeno, expresada como NO2, y determinada en todas las muestras en un año, no

deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100

µg/m3).La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por

metro cúbico (150 μg/m3) más de dos (2) veces en un año.

4.1.2.2 Los valores de concentración de contaminantes comunes del aire, establecidos en esta norma,

así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las

condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg.

4.1.2.3 Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes comunes del aire deberán

corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo

cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$Cc = Co * \frac{760 \text{ mm Hg}}{Pbl \text{ mmHg}} * \frac{(273^{\circ} + t^{\circ})^{\circ} K}{298 \text{ K}}$$

Cc: concentración corregida

Co: concentración observada

Pbl: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

t°C: temperatura local, en grados centígrados.

- 4.1.3 De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.
- 4.1.3.1 La Entidad Ambiental de Control establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de Alerta, Alarma y Emergencia.
- 4.1.3.2 Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire (Tabla 1). Cada uno de los tres niveles será declarado por la Entidad Ambiental de Control cuando uno o más de los contaminantes comunes indicados exceda la concentración establecida en la siguiente tabla, o cuando las condiciones atmosféricas se espera que sean desfavorables en las próximas 24 horas.

Tabla 1. Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire ^[1]

CONTAMINANTE PERÍODO DE TIEM	ИРO	Υ	ALERTA	ALARMA	EMERGENCI A
Monóxido de Carbo Concentración ocho horas		en	15 000	30 000	40 000
Oxidantes expresados como o	Fotoquímico: ozono.	S,			
Concentración una hora	promedio	en	300	600	800
Óxidos de Nitrógeno, como NO2					
Concentración una hora	promedio	en	1 200	2 300	3 000
Dióxido de Azufre Concentración veinticuatro horas	promedio	en	800	1 600	2 100
Material Particulado PM10 Concentración en veinticuatro horas			250	400	500

Nota:

Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

4.1.3.3 Cada plan contemplará la adopción de medidas que, de acuerdo a los niveles de calidad de aire que se determinen, autoricen a limitar o prohibir las operaciones y actividades en la zona afectada, a fin de preservar la salud de la población.

4.1.3.4 La Entidad Ambiental de Control podrá proceder a la ejecución de las siguientes actividades mínimas:

En Nivel de Alerta:

Informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta. Restringir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos.

Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encontrase fuera de operación

En Nivel de Alarma:

Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma.

Restringir, e inclusive prohibir, la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma. Esto podrá incluir en limitar el tiempo de operación para aquellas fuentes fijas que no se encontraren en cumplimiento con las normas de emisión.

Suspender cualquier quema a cielo abierto.

En Nivel de Emergencia:

Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia.

Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia. Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Entidad Ambiental de Control.

Suspender cualquier quema a cielo abierto, e inclusive, proceder a combatir dichas quemas.

- 4.1.4 De los métodos de medición de los contaminantes comunes del aire ambiente
- 4.1.4.1 La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes comunes, a nivel de suelo, en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, serán aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations), y cuya descripción general se presenta a continuación.

Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire

CONTAMINANT E	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO							
Partículas Sedimentables	Nombre: Método Gravimétrico, mediante Captación de Partículas en Envases Abiertos							
	Referencia: Method 502. Methods of Air Sampling and Analysi 3rd. Edition, Intersociety Committee, Lewis Publishers, Inc. 1988.							
	Descripción: Se utilizará un envase, de 15 centímetros de diámetro o mayor, y con altura dos o tres veces el diámetro. La altura del envase, sobre el nivel de suelo, será de al menos 1,2 metros. Las partículas colectadas serán clasificadas en solubles e insolubles. Las partículas insolubles se determinarán mediante diferencia de peso ganado por un filtro de 47 mm, y que retenga aquellas partículas contenidas en el líquido de lavado del contenido del envase. En cambio, las partículas insolubles se determinarán mediante la diferencia de peso ganado por un crisol, en el cual se evaporará el líquido de lavado del envase. La concentración total de partículas sedimentables será la suma de partículas solubles e insolubles, normalizadas con respecto al área total de captación del envase.							
Material Particulado PM10	Nombre: Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal. Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix M.							

Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire

CONTAMINANT E	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
	Descripción: el equipo muestreador, de alto caudal o de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 10 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 10 micrones serán captadas en un filtro, de alta eficiencia, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas.
	Métodos Alternos: podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, tanto del tipo Microbalanza Oscilante como el tipo Atenuación Beta. En el primer caso, el equipo muestreador, equipado con entrada aerodinámica PM10, posee un transductor de masa de las oscilaciones inducidas por el material particulado. En el segundo tipo, el equipo muestreador, con entrada PM10, contiene una fuente de radiación beta que determina la ganancia de peso en un filtro, a medida que este experimenta acumulación de partículas.
Material Particulado PM2,5	Nombre: Método Gravimétrico, mediante muestreador de bajo caudal. Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix J o Appendix L.
	Descripción: el equipo muestreador, de bajo caudal, estará equipado con una entrada aerodinámica capaz de separar aquellas partículas de tamaño superior a 2,5 micrones de diámetro aerodinámico. Las partículas menores a 2,5 micrones serán captadas en un filtro, y la concentración se determinará mediante el peso ganado por el filtro, dividido para el volumen total de aire muestreado en un período de 24 horas.
	Métodos Alternos: podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, del tipo Microbalanza Oscilante o del tipo Atenuación Beta, según

CONTAMINANT E	NOMBRE, MÉTODO	REFERENCIA	Y	DESCRIPCIÓN	DEL
Dióxido de Azufre	Nombre: Método de la colorimétrico		absorció	110. n en medio líquido	y análisis

Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire

CONTAMINANT E	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO
	Referencias: Método de la Pararosanilina: 40 CFR Part 50, Appendix A. Fluorescencia: Diferentes fabricantes cuyos equipos se encuentren aprobados por la agencia de protección ambiental de EE.UU. Descripción:
	Método de la Pararosanilina: el dióxido de azufre es absorbido en una solución de potasio de tetracloromercurato de sodio (TCM). La muestra es acondicionada para evitar interferencias, en particular de metales y de agentes oxidantes, como ozono y óxidos de nitrógeno. La solución es tratada con formaldehído, ácido fosfórico y pararosanilina, a fin de mantener condiciones adecuadas de pH y de color. La concentración final se determina mediante colorímetro.
	Método Fluorescencia: la concentración de dióxido de azufre es determinada mediante la medición de la señal fluorescente generada al excitar a dicho compuesto en presencia de luz ultravioleta.

CONTAMINANT E	NOMBRE, REFERENCIA Y DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO					
Monóxido de Carbono	Nombre: Analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR)					
	Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix C.					
	Descripción: el principio de medición consiste en determinar la concentración de monóxido de carbono mediante el cambio en absorción de energía infrarroja en diferentes longitudes de onda.					
Oxidantes Fotoquímicos (como O3)	Nombre: Quimiluminiscencia Fotómetro ultravioleta					
	Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix D.					
	Descripción: el principio de medición, para equipos con quimiluminiscencia, es la mezcla de aire con etileno, produciendo la reacción de el ozono. Esta reacción libera luz (reacción quimiluminiscente), la cual es medida en un tubo fotomultiplicador.					
	Para el caso de equipos con fotómetro ultravioleta, el principio de medición consiste en determinar la cantidad de luz absorbida a una longitud de onda de 254 nanómetros.					

Tabla 2. Métodos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire

CONTAMINANT E		·	REFERENCIA	Υ	DESCRIPCIÓN	l DEL	
		MÉTODO					
Óxidos	de	Nombre: Quimi	Nombre: Quimiluminiscencia				
Nitrógeno	(como						
NO2)							
Referencia: 40 CFR Part 50, Appendix F.							
		_					
		Descripción:	el NO2 es d	converti	do en NO, el	cual	

CONTAMINANT E	NOMBRE, MÉTODO	REFEREN	ICIA	Υ	DESCRIPCIÓN		DE	L
	reacciona produciendo presentación de NO.				El instrum	ento	•	

- 4.1.5 De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire
- 4.1.5.1 Para fines de esta norma, la Entidad Ambiental de Control podrá solicitar evaluaciones adicionales a los operadores o propietarios de fuentes que emitan, o sean susceptibles de emitir, olores ofensivos o contaminantes peligrosos del aire. De requerirse, se establecerán los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente, de emisiones de olores o de contaminantes peligrosos del aire.