CONFIGURACIONES MATEMÁTICAS PARA SIMULAR LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EL SECTOR MINERO



Rommel Luis López Alvarado
Javier López Alvarado

EDITORIAL KUNTUR

Configuraciones Matemáticas para Simular la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en el Sector Minero/Rommel Luis López Alvarado, Javier López Alvarado.
La Paz: Editorial Kuntur, 2024.
135 pp.
ISBN: 978-9917-639-28-2
1. Configuraciones matemáticas, 2.Contaminantes atmosféricos, 3. Sector minero.

Configuraciones Matemáticas para Simular la Dispersión de Contaminantes Atmosféricos en el Sector Minero

Depósito legal: 4-1-4315-2024
ISBN: 978-9917-639-28-2
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.12696467

@ Rommel Luis López Alvarado
@ Javier López Alvarado

Edición
Editorial Kuntur

Diseño de carátula y composición:
Editorial Kuntur

Edición electrónica:
Editorial Kuntur

© Editorial Kuntur
La Paz, Bolivia
www.editorialkuntur.com

Editado en Bolivia/ *Published in Bolivia*

Primera Edición: julio de 2024

Todas nuestras publicaciones son sometidas a un proceso de arbitraje doble ciego de pares externos

(*Peer Review Double Blinded*).

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.



Licencia *Creative Commons* Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada *3.0 Unported License*

CONFIGURACIONES MATEMÁTICAS PARA SIMULAR LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN EL SECTOR MINERO

Rommel Luis López Alvarado
Javier López Alvarado

EDITORIAL KUNTUR

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS 8

ÍNDICE DE FIGURAS 11

ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS 14

INTRODUCCIÓN 19

CAPÍTULO I

BASES TEÓRICAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS 21

1.1. Modelo científico de sistemas de información 21

1.2. Métodos de medición de contaminantes de aire 23

1.3. Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos: gaussiano 26

1.4. Modelos de contaminación atmosférica 26

1.4.1. Modelos físicos 26

1.4.2. Modelos matemáticos 27

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS CONCEPTUALES DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN 28

2.1. Nociones de sistemas de información 28

2.2 Tipos de sistemas de información en empresas 29

2.3. Diseño de sistemas 29

2.4. Diseño e implementación de *software* 30

CAPÍTULO III

DELIMITACIONES DE MINERÍA Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA 32

3.1. Nociones de minería 32

3.2. Tipos de minería 33

3.3. Nociones de contaminación atmosférica 34

3.4. Nociones de clima y meteorología 35

3.5. Tipos de contaminantes atmosféricos 36

3.5.1 Contaminantes primarios 36

3.5.2 Contaminantes secundarios 36

3.5.3 Condiciones climáticas y otros contaminantes 37

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN Y CASO DE ESTUDIO
CONFIGURACIONES MATEMÁTICAS PARA SIMULAR DISPERSIÓN
DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN MINERÍA: ESTUDIO
DE CASO EN EL SECTOR MINERO DE CERRO DE PASCO 40

4.1. Clima y meteorología en Cerro de Pasco 41

4.1.1. Monitoreo de la calidad de aire en Cerro de Pasco 41

4.2. Objetivo general 41

4.2.1. Objetivo específico 41

4.3. Hipótesis general 43

4.3.1. Hipótesis específica 43

4.4. Tipo de investigación 43

4.5. Nivel de investigación 43

4.6. Diseño de investigación 43

4.7. Método de investigación 44

4.8. Sistema de variables 44

4.9. Factores para estimar la concentración de contaminantes atmosféricos 45

4.10. Clasificación de modelos para estimar la concentración de contaminantes 46
4.10.1. Modelo de celda fija 47
4.10.2. Modelo de dispersión 49
4.10.3. Modelo de celdas múltiples 49
4.10.4. Modelo base de dispersión Gaussiana 51
4.11. Cálculo de la elevación de la pluma 58
4.12. Correlación de la velocidad 62
4.13. Población 64
4.14. Muestra 64
4.15. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 64
4.15.1. Técnicas 64
4.15.2. Instrumentos 65
4.16. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 65
4.17. Tratamiento estadístico 66
4.18. Resultados cuantitativos 67
4.19. Resultados cualitativos 75
4.19.1. Cuestionario N.° 1 75
4.19.2. Cuestionario N.° 2 75
4.19.3. Cuestionario N.° 3 76
4.19.4. Cuestionario N.° 4 77
4.20 Conclusiones 78
4.20.1. Conclusiones cuantitativas 79
4.20.2. Conclusiones cualitativas 81
4.21. Recomendaciones 81

CAPÍTULO V

REFLEXIONES EN TORNO A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL SECTOR MINERO 83

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

APÉNDICES 91

Apéndice A: ámbito geográfico del campo muestral 91

Apéndice B: data de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco 99

Apéndice C: tablas de isoconcentración 104

Apéndice D: diagrama de flujo y manual del usuario. 119

Simulador para la dispersión de los contaminantes atmosféricos (Simdica) 120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0
Acrónimos y símbolos 14

Tabla 1
Métodos de medición y análisis de los contaminantes del aire 23

Tabla 2
Clasificación de los contaminantes atmosféricos 36

Tabla 3
Valores permisibles internacionales 37

Tabla 4
Resultados promedio de la primera medición en época de verano 42

Tabla 5
Resultados promedio de la segunda medición en época de invierno 42

Tabla 6
Tipos de modelos para estimar concentración de contaminantes 46

Tabla 7
Valores de I, J, K para σ_y *e* σ_z 56

Tabla 8
Categorías de estabilidad (Pasquill) 57

Tabla 9
Valores de las constantes para el cálculo de σ_y *y* σ_z 59

Tabla 10
Valores de la constante n empleada en la ecuación $U_2 = U_1 \frac{H_2}{H_1}$ 63

Tabla 11
Distritos y localidades de Cerro de Pasco seleccionados para la muestra 64

Tabla 12
Tabulación del cuestionario N.º 1 75

Tabla 13
Tabulación del cuestionario N.º 2 76

Tabla 14
Tabulación del cuestionario N.º 3 77

Tabla 15
Tabulación del cuestionario N.º 4 78

Tabla 16
Características demográficas de los distritos de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco 92

Tabla 17
Delimitación de estratos de exposición según fuentes contaminantes del aire en la ciudad de Cerro de Pasco 95

Tabla 18
Datos meteorológicos de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco, 2010 99

Tabla 19
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad A 104

Tabla 20
Concentración 500 µg/m³, área rural, clave de estabilidad A 106

Tabla 21
Concentración 500 µg/m³, área urbana, clave de estabilidad A 108

Tabla 22
Concentración de 500 µg/m³, clave de estabilidad D 110

Tabla 23
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad D, elevación de la dispersión (Holland) 112

Tabla 24
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad F 113

Tabla 25
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad F, área rural 114

Tabla 26
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad F, área urbana 116

Tabla 27
Concentración 100 µg/m³, clave de estabilidad D 117

Tabla 28
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad F, área urbana 118

Tabla 29
Formas de ingresar datos en Simdica 123

Tabla 30
Constantes para el cálculo de la capacidad calorífica del aire 128

Tabla 31
Constantes para el cálculo de la capacidad calorífica del aire 130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1
Diseño e implementación del software 31

Figura 2
Diseño de investigación 43

Figura 3
Diagrama del modelo de celda fija 47

Figura 4
Modelo base de dispersión con la fuente virtual a una altura efectiva H de la chimenea 51

Figura 5
Efecto de reflexión del suelo 52

Figura 6
Desviación normal σ_y 54

Figura 7
Desviación normal σ_z 55

Figura 8
Concentración 500 µg/m³, categoría de estabilidad D 68

Figura 9
Concentración 1000 µg/m³, categoría de estabilidad D 68

Figura 10
Concentración 2,500 µg/m³, categoría de estabilidad D 69

Figura 11
Concentraciónes 500, 1,000 y 2,500 µg/m³, categoría de estabilidad D 69

Figura 12
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad A, área rural y urbana 70

Figura 13
Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad F, área rural y urbana 71

Figura 14
Concentración 500 µg/m³, categoría de estabilidad F 72

Figura 15
Concentración 500 µg/m³, categoría de estabilidad D con y sin elevación de dispersión 73

Figura 16
Concentración 500 µg/m³, claves de estabilidad A, D y F 74

Figura 17
Representación gráfica del cuestionario N.º 1 75

Figura 18
Representación gráfica del cuestionario N.º 2 76

Figura 19
Representación gráfica del cuestionario N.º 3 77

Figura 20
Representación gráfica del cuestionario N.º 4 78

Figura 21
División política de la Ciudad de Cerro de Pasco por distritos 92

Figura 22
Delimitación de la cuenca atmosférica en la ciudad de Cerro de Pasco 93

Figura 23
Delimitación de la cuenca atmosférica en la ciudad de Cerro de Pasco 94

Figura 24
Mapa de ubicación por estratos de exposición y fuentes fijas en la ciudad de Cerro de Pasco 96

Figura 25
Ubicación por estratos de exposición y fuentes móviles en la ciudad de Cerro de Pasco 97

Figura 26
Mapa de ubicación por estratos de exposición generalizada en la ciudad de Cerro de Pasco. 98

Figura 27
Velocidades de viento normales y máximas de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco correspondientes al año 2010 100

Figura 28
Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre enero, febrero y marzo del 2010 101

Figura 29
Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre abril, mayo y junio del 2010 101

Figura 30
Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre julio, agosto y setiembre del 2010 102

Figura 31
Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre octubre, noviembre y diciembre del 2010 102

Figura 32
Indicio de contaminación atmosférica en distrito de Simón Bolívar 103

Figura 33
Indicio de contaminación atmosférica en distrito de Yanacancha 103

Figura 34
Generación de superficies de isoconcentración 119

Figura 35
Pantalla principal del Simdica 122

Figura 36
Datos de entrada del Simdica 124

Figura 37
Opciones para la sección 2 124

Figura 38
Especificar manualmente la clave de estabilidad 125

Figura 39
Opciones para la condición Día 126

Figura 40
Opciones para la condición Noche 126

Figura 41
Datos ingresados para calcular elevación de la pluma 127

Figura 42
Lista de correlaciones para calcular elevación de la pluma 127

Figura 43
Menú del Simdica 129

Figura 44
Menú emergente para manipular los resultados 132

Tabla 0
Acrónimos y símbolos

Acrónimo o símbolo	Definición
Lista de elementos químicos y términos relacionados con el tema de estudio.	
AID	Área de influencia directa
AII	Área de influencia indirecta
Ar	Argón
$C_6H_{12}O_6$	Glucosa
Cd	Cadmio
CFC	Clorofluorocarbonos
CH_4	Metano
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono

Acrónimo o símbolo	Definición
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CPA	Contaminantes peligrosos del aire
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
ECA	Estándares de calidad ambiental
GLP	Gas licuado de petróleo
H_2O	Agua
He	Helio
Hg	Mercurio
HTA	Humo de tabaco en el ambiente
LMP	Límite máximo permisible
N_2	Nitrógeno molecular
MEC	Monitoreo de emisiones continuas
NO_x	Óxidos de nitrógeno
O_2	Oxígeno molecular
O_3	Ozono
PAMA	Programa de adecuación y manejo ambiental
Pb	Plomo
PCB	Bifenil policlorado
PD	País desarrollado
pH	Índice numérico de acidez o alcalinidad
PM	Material particulado
ppb	Partes por billón

Acrónimo o símbolo	Definición
ppm	Partes por millón
PSD	País subdesarrollado
PVC	Policloruro de vinilo
Rd	Radón
Si	Sílice
SIG	Sistema de información geográfica
SO_2	Dióxido de azufre
TSP	Total de partículas en suspensión
$\mu g/m^3$	Microgramo por metro cúbico
^oC	Grados centígrados
^oK	Grados Kelvin
Organizaciones internacionales	
Aermap	*Air Dispersion Modelling System Terrain Preprocessor*
Aermet	*Air Dispersion Modelling System Meteorological Data Preprocessor*
Aermod	Air Dispersion Modelling Air Dispersión Model
AMS	American Meteorological Society
Cepis	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
ECO	Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud
EEA	European Environmental Agency
EPA o Usepa	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)
ISO	Organización Internacional para la Estandarización

Acrónimo o símbolo	Definición
Organizaciones internacionales	
Gems	*Global Environmental Monitoring System*
OMS	Organización Mundial de la Salud
NOAA	Administración Nacional de Recursos Oceánicos y Atmosféricos
OPS	Organización Panamericana de la Salud
Pnuma	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Redpanaire	Red Panamericana de Muestreo Normatizado de la Contaminación del Aire
Organizaciones nacionales	
Ceprit	Centro de Prevención de Riesgos del Trabajo
Concytec	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Digesa	Dirección General de Salud Ambiental
Essalud	Seguro Social de Salud del Perú
Fonam	Fondo Nacional del Ambiente
IGP	Instituto Geofísico del Perú
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INC	Instituto Nacional de Cultura
Ingemmet	Instituto Geológico, Minero Metalúrgico
Inrena	Instituto Nacional de Recursos Naturales
Minag	Ministerio de Agricultura
Minam	Ministerio del Ambiente del Perú
Minem	Ministerio de Energía y Minas

Acrónimo o símbolo	Definición
Minedu	Ministerio de Educación
Minsa	Ministerio de Salud
Oefa	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
Osinergmin	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
Pyme	Pequeña y Mediana Empresa
Senamhi	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
Sernanp	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas
Sinia	Sistema Nacional de Información
SPDA	Sociedad Peruana de Derecho Ambiental

INTRODUCCIÓN

En el orbe internacional, el sector minero se haya indudablemente vinculado con el desplazamiento económico de la sociedad, toda vez que, la misma ha incursionado su desarrollada durante muchas décadas mediante diferentes procesos, motivo por el cual, la extracción de minerales como uno de las tantas actividades efectuadas, se considera como uno de los factores que producen mayores niveles de contaminación para el medioambiente, independientemente de que se trate de un proceso de extracción formal o informal, pues ambos traen consecuencias perjudiciales sobre el medio, como la destrucción de corteza terrestre, afecciones sobre la flora y fauna de un territorio y, en especial, el estado de bienestar de la población.

De esta manera, es preciso destacar que el desarrollo y producción de elementos de alto nivel de contaminación y afección a la atmósfera, ocasiona a su vez, una alteración en la provisión de oxígeno, esto a razón inclusive, de la introducción de gases y cenizas volcánicas, incendios forestales u otros factores propios de los estragos de cambios naturales; mientras que por otro lado se encuentra la contaminación ocasionada por la mano del hombre, causada por el uso de vehículos, pinturas, aerosoles e industrias. En este sentido, Matute (2018) en atención al avance socioeconómico y las desagradables problemáticas que este trae a la humanidad, que se amerita de un indudable esfuerzo del hombre para que la afectación a la salud de quienes habitan las grandes ciudades y el deterioro del Medio Ambiente sea erradicado considerablemente.

Con ello en mente, puede señalarse que el desarrollo económico y las diferentes actividades que contribuyen a él aumenta, en específico la minería, que permite a su vez la producción de combustibles fósiles, tal como señala el autor citado; además, aumenta los niveles de contaminación ambiental, lo que repercute notablemente en la calidad del oxígeno y la salud de los ciudadanos. Es necesario considerar que, con el aumento de la población a lo largo del tiempo, la calidad del oxígeno debe ser la adecuada, para mantener la salud de los mismos.

De ahí que, sea importante realizar una evaluación de todos los agentes contaminantes de la atmósfera producto de la actividad minera, para determinar así las medidas necesarias e implementar innovaciones que permitan reducir los efectos negativos sobre el impacto ambiental y la salud del ser humano; evaluaciones que deben estar destinadas a conseguir un equilibrio acorde a la actividad que es desarrollada por el hombre y la sostenibilidad del ambiente propiamente, toda vez que, se amerita minimizar de manera absoluta la sobreexplotación natural.

De acuerdo con el argumento anterior, se comprende que para toda actividad minera es necesaria la realización de una estimación respecto al impacto ambiental (EIA), la cual pretende calcular el nivel del impacto que tendrá sobre el medioambiente, permitiendo de esta manera promover políticas antes, durante y después del proceso de gestión minera para prevenir efectos negativos.

Así, se concluye que, ante una actividad económica que mantiene impactos negativos sobre la salud y el medioambiente durante su procedimiento, es fundamental determinar la medición de los niveles de contaminación y, con ello, plantear medidas preventivas ante cualquier incidente, para no generar un mayor impacto.

CAPÍTULO I

BASES TEÓRICAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

El hombre, como ser social y autónomo, amerita de la realización de determinadas actividades a través de las cuales busque la satisfacción de sí mismo, sin embargo, aunque tal objetivo sea alcanzado, en el transcurso de tal desarrollo es palpable un impacto sobre los recursos y espacios naturales, ello se visualiza en el caso de la minería, actividad cuyo ejercicio genera contaminación atmosférica, alterando de manera negativa la producción de oxígeno para los seres vivos. Por lo tanto, en todo proyecto relacionado con el sector minero es necesario el planteamiento de políticas ambientales como una medida preventiva que debe ser incorporada durante todo el proceso, destacando que, para poder tener los indicadores del impacto ambiental, es necesario realizar la medición de los contaminantes a través de diferentes modelos, para clasificarlos y así poder desarrollar una planificación sustentable para dicho sector.

1.1. Modelo científico de sistemas de información

En aras de alcanzar la determinación del impacto que supone el cúmulo de actividades realizadas sobre el medioambiente, basta señalar la implementación efectuada por ciertas industrias para calcular cuáles son las sustancias contaminantes y en qué cantidad generan ese efecto contraproducente, a fin de cumplir con las normativas ambientales establecidas, lo cual, a su vez influye

positivamente en la reducción de la contaminación atmosférica. En este sentido, De Pablos et al. (2019) mencionan que los modelos de sistema de información hacen referencia a recursos y medios comunicativos que son manejado por la organización estructural de una empresa con el incentivo de almacenar y transformar la información. Asimismo, dichos doctrinarios manifiestan que las comunicaciones son canalizadas y modificadas correctamente cuando son sometidas a los sistemas de información, que precisamente buscan el sostenimiento de las estrategias competitiva de las empresas en comento.

En este sentido, se comprende que los sistemas de información permiten realizar un reconocimiento de los datos que mantiene una empresa. Cabe resaltar que un sistema de información va a ser eficaz siempre y cuando tenga la facilidad de proporcionar referencias informativas que se ameritan en el área de organización y que necesariamente, deben ser requeridas, de ahí que, determinados autores propongan las siguientes cinco etapas para entender cómo se desenvuelve un sistema de información:

- Primera etapa: corresponde al análisis del sistema y la organización de la información, ya sea manual o a través de recursos tecnológicos, para tratar la información de manera automática.

- Segunda etapa: se da de acuerdo con la acumulación de datos, donde se requiere la incorporación de centros de proceso de datos para proceder a la transformación de los mismos.

- Tercera etapa: hace referencia a la implementación de un área funcional que concibe al procedimiento de cada respectivo sistema para resolver los problemas de gestión informativa.

- Cuarta etapa: se encuentra vinculada a la implementación de una aplicación de instrumentos que sirven de soporte de la información previa fase de transición.

- Quinta etapa: en la etapa final genera una integración absoluta de la información en razón a cada estrategia implementada en la corporación, donde son perfeccionadas tecnologías de información de nuevo nivel, logrando una ventaja competitiva a través de su uso.

Por otro lado, para Abrego et al. (2017), estas figuras representan medios de índole humana y material, utilizando equipos e instrumentos tecnológicos, tales como modelos de análisis, bases de datos, *software*, entre otros. Asimismo, indican que se encuentran caracterizados porque engloban una capacidad de funcionamiento integrada e independiente, donde predomina el manejo de sistemas de una índole más pequeña, listos para cubrir una necesidad presente en una organización.

De esta manera, se determina que un sistema de información corresponde a toda la clasificación, análisis y organización de datos que lleva a cabo una empresa. Estos sistemas son uno de los componentes más importantes, dado que representan una oportunidad de éxito, al considerar la capacidad de reunión, procesamiento y distribución de datos de manera oportuna e integrada.

1.2. Métodos de medición de contaminantes de aire

Ante el sufrimiento que afronta la sociedad por las graves consecuencias de la contaminación del aire que genera afecciones naturales y hasta humanas, resulta importante llevar a cabo mediciones de los agentes contaminantes mediante la utilización de diversos métodos como la ionización de llama, absorción infrarroja, absorción atómica, espectroscopía de fluorescencia, recolección de partículas y espectrofotometría a fin de determinar de forma precisa qué elementos suponen un prejuicio para el aire que se respira.

Tabla 1

Métodos de medición y análisis de los contaminantes del aire

Método	Principio	Contaminante
Ionización de llama	Responde en proporción a la cantidad de átomos de carbono en el prototipo de gas.	COV
Absorción infrarroja	La muestra absorbe la radiación en la región infrarroja del espectro; midiendo la discrepancia en la absorción. Se usan otras regiones del espectro, como es el caos de la UV	Monóxido de carbono
Absorción atómica	Se absorbe la radiación, la cual depende de los átomos presentes.	Plomo

Método	Principio	Contaminante
Espectroscopía de fluorescencia	La muestra excitada puede reemitir el exceso de energía excitada	Ozono, NO_2
Recolección de partículas	Gravimetría; la masa de material particulado es delimitada por el peso.	PM_{10}
Espectrofotometría	Se forman respuestas coloreadas mediante la mezcla de los reactivos con los contaminantes.	SO_2

En ese sentido, Rovira (2019), acerca de la ionización de llama o también denominado detector de ionización de llama (FID), distingue que uno de los detectores que en la realidad resultan de habitual utilización es el FID, el cual a su vez predomina en el GC, de ahí que señale expresamente que: "La mayoría de los compuestos orgánicos, cuando se pirolizan a la temperatura de la llama producen iones y electrones que pueden conducir la electricidad a través de la llama" (p. 25).

Bajo esta premisa, se determina que el método a través del revelador de ionización de llama (FID) se presenta como una de las técnicas más utilizadas, debido a los altos índices de sensibilidad a impurezas de hidrocarburos o componentes orgánicos volátiles (COV).

En cuanto a la absorción infrarroja o también denominada espectroscopía infrarroja (IR), Herrera y Rivera (2018) señalan que la espectrometría infrarroja tiene ventajas debido a su versatilidad, dado que puede analizar diferentes muestras, independientemente del estado de esta, sea sólido, líquido, pasta, polvo, fibras o gases. Asimismo, sobre la utilización es preciso determinar que, la espectroscopía infrarroja (IR) es un método que se basa en las vibraciones de los átomos presentes en una molécula, con lo cual, se destaca que para la obtención de este un espectro (IR) se amerita pasar radiación infrarroja por medio de una muestra para determinar que la proporción de la radiación es absorbida a una energía específica. De ahí que, dicha energía en la cual aparece un pico en el espectro de absorción corresponde a la frecuencia de una vibración de una parte de la molécula.

Por esta razón, se determina que el método por absorción infrarroja es utilizado por su versatilidad, lo cual permite absorber la radiación infrarroja de un espectro, midiendo la diferencia en su absorción.

Por otra parte, respecto a la absorción atómica, Afan (2018) argumenta específicamente que este método usa la absorción de luz para lograr alcanzar la medición de la concentración de la fase gaseosa de átomos, pues la técnica que detalla a mayor escala la utilidad instrumental en la cuantificación de elementos químicos es la espectroscopia.

En relación con la espectroscopía de fluorescencia, Charro (2018) indica que la misma arropa como fundamento en la emisión fluorescente de una muestra, para lo cual involucra de forma bastante evidente y pudiere decirse que hasta necesaria, un haz de luz, a fin de que genere la estimulación precisa en los electrones de ciertos átomos y emita posteriormente una luz visible.

Por otro lado, en este tipo de fluorimetría la implementación de la detección y cuantificación de sustancias separadas a través de la cromatografía de líquidos resulta ser una de las aplicaciones de mayor preferencia, toda vez que, asegura un parámetro respecto a las especies inorgánicas que no pudieron ser detectadas con la espectroscopia UV visible o absorción atómica.

En lo concerniente a la recolección de partículas o método gravimétrico, Cortez (2019) expone que la mayoría de métodos que evalúan la degradación del aire se basan en la gravimetría, la que a su vez está basada en principios aerodinámicos de partículas de aire; dicho método mide el material particulado usando principios gravimétricos, para así alcanzar la cantidad correcta de partículas obtenidas.

Según Inga (2017), la espectrofotometría emplea espectrofotómetros porque son éstos los que disponen de un monocromador ante la necesidad de seleccionar una longitud de onda y una fuente de luz con diferentes tipos de radiación, con el fin de que sea precisamente un detector el que recoja la luz y la convierte posteriormente en energía, para que mediante un registro de señal sea obtenido un resultado en forma de absorbancia. Para llevar a cabo este análisis, se requiere en esencia, el conocimiento previo del espectro de absorción o barrido espectral de la muestra, para luego ser representado gráficamente en aras de identificar el valor de la longitud de onda donde el compuesto presenta mayor absorbancia (λmax) y lograr una mayor sensibilidad en su cuantificación.

1.3. Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos: gaussiano

Para fijar el esparcimiento de contaminantes en el aire existe un modelo caracterizado por una ecuación de balanceo de elementos no deseables de aire dentro de un determinado espacio o área de estudio a una fuente puntual.

Por otro lado, Rojano et al. (2016) agregan que el modelo de dispersión gaussiano corresponde a un enfoque estándar para el estudio del transporte de contaminantes sobre el aire, debido a la difusión y advección por el viento, el cual es empleado mediante ecuaciones inherentes al área matemática de los procedimientos físicos que son capaces de orientar la dispersión atmosférica de partículas, gases o sustancias químicas respectivamente.

Para Perugachi (2016), la evaluación de la difusión de contaminantes atmosféricos se precisa a través del modelo gaussiano, puesto que, cumple la función –a diferencia de otros métodos- de calcular la concentración de la superficie del suelo o terreno práctico; no obstante, mantiene suposiciones que comprometen su exactitud, como lo son:

- La invariabilidad de la velocidad y dirección del viento, la cual se mantiene estática entre el núcleo, la fuente origen y el receptor.

- A falta de mutabilidad, todo cuanto se vierte en ella está arraigado a la atmósfera, por tanto, es indiferente a la transformación y depósito de otras formas (como la lluvia o las partículas aledañas).

- La manera en que se dispersa prescinde de la pendiente o la declinación de la trayectoria del viento.

1.4. Modelos de contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica al estar revestida de gran impacto sociocultural amerita necesariamente una pequeña determinación de los dos tipos de modelos: físicos y matemáticos.

1.4.1. Modelos físicos

Para Hernández (2016), son modelos que responden al ideal de experimentos puestos en una escala menor, toda vez que, tiene como finalidad la obtención de representaciones globales o parciales de algún fenómeno, por lo cual, cree

prudente indicar que en la práctica su ejercicio permite cada vez más, una mejor compresión de determinados fenómenos, posibilitando con ello, que tale resultados se apliquen con mayor frecuencia en los modelos matemáticos.

De esta manera, se determina que los modelos físicos se dan a través de una experimentación en laboratorio, a diferencia del modelo matemático, cuyo planteamiento se da a través de ecuaciones, como es el caso, por ejemplo, de los túneles de viento o estanques de agua.

1.4.2. Modelos matemáticos

Para Perugachi (2016), los modelos matemáticos son alternativas de menor costo, por el hecho de que, al inspeccionar detenidamente la dinámica que es manejada en la atmósfera, y con ello, a la de su respectiva difusión y transformación química, acarrea secuencialmente, una apreciación de la concentración de contaminantes atmosféricos del sector, considerando para dicho estudio, la topografía y condiciones meteorológicas de la ciudad respectiva.

CAPÍTULO II

PRINCIPIOS CONCEPTUALES DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Toda organización tiene como parte de sus procedimientos la recolección de datos, con ello se pretende identificar diferentes puntos positivos y negativos para implementar o excluir medidas, de acuerdo con cada empresa, por esta razón, la implementación de determinados esquemas y técnicas vinculadas a la información resultan de utilidad al momento de realizar la recolección e instauración de tales datos.

2.1. Nociones de sistemas de información

Para Castillo y Pérez (2017), se tratan de un conjunto unitario de sistemas que forman parte de toda organización y resultan fundamentales para obtener, procesar y gestionar la investigación; en este sentido, aprovisionando datos según la necesidad de la distribución a la que sirve, argumentando su investigación en otros estudiosos que sabiamente opinan la relevancia de cada una de las personas que requiere la información para una actividad distinta en el área laboral que le corresponde, lo cual forma parte de las actividades de control de la gerencia empresarial y con ello, cobra participación en la toma de decisiones de la misma.

2.2 Tipos de sistemas de información en empresas

Para Guzmán (2018) se trata de una concepción que verdaderamente ha revolucionado las instituciones y, para ello, se está ante la necesidad de incursionar en una adaptación respecto a los cambios dentro de los procesos organizacionales. En ese sentido, el autor en comento plantea una tipología que atiende a 3 categorías de sistemas: el de información administrativa, el de soporte en las decisiones y que posee carácter ejecutivo.

- Sistema de información administrativo: inspecciona y recupera datos del entorno generados por medio de transacciones, los cuales son filtrados y establecidos para representar la información a gerentes y directivos. Estos datos se centran en inventarios, presupuestos e inversiones orientados específicamente para autoridades de cada organización.

- Sistema de apoyo a las decisiones: se centra en la observación de información y uso de tecnologías y minería de datos; así como el análisis de precios y utilidades orientados a empleados de nivel medio de la organización.

- Sistema de información ejecutivo: orientado a sistema de soporte de decisiones, el cual está basado en la inteligencia de negocios orientado a nivel gerencial, permitiendo mostrar la información a través de indicadores.

De esta manera, se determina que tales acepciones son entendidas como métodos de apoyo para el correcto funcionamiento empresarial, dado que, permiten una observación más exacta, aunado a la recolección y cometido de datos; a su vez, estos presentan diferentes orientaciones, donde se comprende que la información está distribuida de acuerdo con el uso y el área a la que corresponde.

2.3. Diseño de sistemas

En el orbe intelectual, se haya descrito como el proceso de planificación o modificación de un sistema previo. Sin embargo, ante cualquier cambio es necesario conocer la totalidad del sistema anterior y, con ello, determinar el mejor procedimiento de modificación. Para Chuquilin y Vásquez (2018), el mantenimiento de un diseño de severa clase responde a caracteres fundamentales que resguardan la existencia misma de dicho sistema, ya que es un proceso implementado en diferentes áreas, independientemente del rubro que hará uso de ellos.

Así, ambos autores señalan de una forma rigurosa, que el manejo administrativo como función inherente a la propia estructura de los Poderes Públicos requiere la utilización de sistemas que sean capaces de aglomerar y ordenar la información para que los respectivos empleados efectúen labores sobre ella de forma funcional y correcta, con lo cual se garantiza un contexto laboral con trabajadores capacitados y con un equipo de atiende a las necesidades del desempeño ilustre de tales personificaciones.

En este sentido, se resalta la función del diseño de un sistema como pieza clave para determinar la facilidad de acceso y utilidad que tendrá todo sistema de información en cualquier rubro. Ello es ratificado por Rodríguez (2018), quien se concentra en manifestar únicamente un agregado vinculado al diseño de los sistemas de información, destinado a señalar que los elementos indispensables para tales actividades versan en: las funciones interrelacionadas, *hardware*, *software* y los factores que conforman recursos humanos.

2.4. Diseño e implementación de *software*

En esta etapa lo primordial es seguir una serie de procedimientos, los cuales tienen como principios básicos para el análisis, el diseño, codificación y prueba del programa. Gómez y Moraleda (2020) señalan que se trata de una delineación de un bosquejo del sistema propiamente, puntualizando a través de la verbalidad (oral y escrita) la estructura de tal sistema con la debida precisión y puntualidad, la cual permite su realización física y evidente.

De esta manera, el diseño permite la comunicación a todas las partes que se encuentran implicadas en la producción del sistema. Además, los autores indican que, la producción del diseño permite una categorización del producto de acuerdo con las peculiaridades que se plasmen en el documento resultante. Una tendencia bastante utilizada, y que se estudiará en profundidad en futuras asignaturas, es la elaboración del diseño de una aplicación de acuerdo con unas pautas previamente establecidas. Es lo que se conoce como diseño con patrones de *software*.

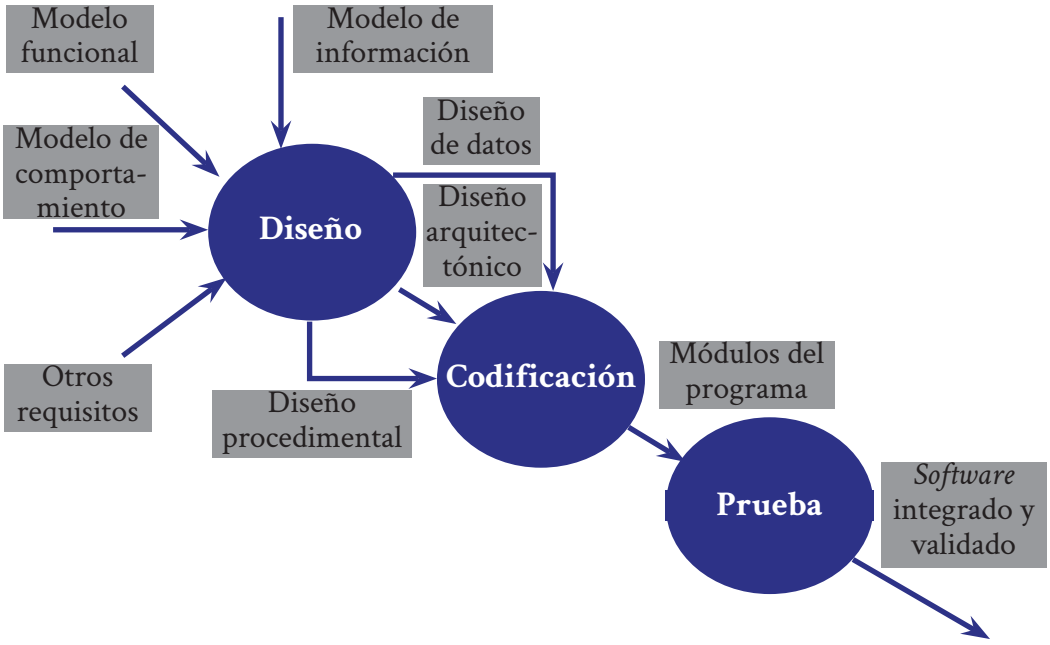
En relación con la etapa de codificación, se sostiene que el desarrollo se presenta como el elemento central de cualquier modelo de progreso e impulso de software, como lo es el ciclo de vida, el uso de prototipos y el modelo en espiral, para que, luego de que se haya especificado y diseñado a cabalidad -sea de manera parcial o completa- proceder a la instauración del código, conocida como pro-

gramación. Igualmente, los autores también explican que el vocablo "codificar o recopilar" engloba la expresión de un programa de computadora en un lenguaje de sistematización; sin embargo, la construcción de tal elemento no se limita únicamente a la codificación, sino que también involucra actividades de verificación, depuración y pruebas del programa.

Es así como la importancia de la fase de codificación será evidente, siempre y cuando sea tomado en consideración la extensión del producto fundamental de un *software* que en ella misma se desarrolla: los programas fuente. En cuanto a la fase de prueba, esta se centra en comprobar la correcta codificación de las unidades o módulos de *software*, verificando así la lógica del procesamiento interno y, con ello, la estructura de datos.

Lo que realmente se busca detectar son los efectos e insuficiencias del programa, de ahí que las pruebas sean empleadas exactamente para que de una serie de situaciones (una distinta de la otra) pueda determinarse qué actividad funcional es incorrecta.

Figura 1
Diseño e implementación del software



De esta manera se trata de alcanzar la mejor calidad posible de un *software* a través de cada una de las fases que el autor propone en la Figura 1.

CAPÍTULO III

DELIMITACIONES DE MINERÍA Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En el transcurrir de los años, se presenta como un desafío de relevancia significativa que atenta contra sociedad al afectar el equilibrio del medioambiente, llegando a convertirlo en un entorno peligroso para la vida de todo ser vivo, de ahí que se amerite conocer exactamente las causas de la contaminación para lograr proponer y promover políticas de desarrollo sostenible para todas las actividades económicas que mantiene un país. En ese sentido, la minería se configura como un sector que genera uno de los mayores ingresos económicos y, con ello, también mayores consecuencias perjudiciales para el medioambiente, es necesario identificar los agentes que producen la contaminación y así poder tomar las medidas necesarias.

3.1. Nociones de minería

Para Hamilton (2019), la minería es percibida como el aprovechamiento de los recursos de la naturaleza que se adjudican en la corteza terrestre, los cuales revisten de una utilidad vital para el desarrollo hombre en sociedad, porque permiten que este se desenvuelva y pueda así suministrarse de materia que amerite en la cotidianidad de su vida, como lo es el área de trabajo, vinculada con las herramientas necesarias para la fabricación o construcción de artefactos.

Ante ello, el mencionado autor indica que al ser una actividad que alimenta al sector económico y que produce ingresos constantes, incrementa paralelamente las inversiones a nivel internacional, generando valor agregado y promoviendo relaciones en donde los minerales son el eje central para incrementar las bolsas mundiales.

Por su parte, la minería es entendida como la actividad económica que se da a través de la extracción de diferentes tipos de minerales, permitiendo conjuntamente, el progreso activo y constante del área industrial, trayendo como consecuencia, que el sector esté caracterizado por un crecimiento económico latente, que atienda precisamente, al contexto social actual.

Para López et al. (2016), la minería es una actividad con una antigüedad como la tierra misma, por lo que es sumamente importante para contribuir con el progreso económico de Estados que se caracterizan por ser ricos en minerales, en especial oro, plata, cobre y otros que tienen un alto valor adquisitivo en el mercado. Sin embargo, realizar esta actividad influye en los niveles de contaminación ambiental y trae consigo consecuencias perjudiciales para la salud, por ello, señalan que se amerita un manejo que responda a un equilibrio que vincule las 3 vertientes de la sostenibilidad: sociedad, ambiente y crecimiento económico, porque sólo así se consolida fuertemente el laso entre el ecosistema y la salud humana.

Bajo dicha premisa, se entiende que es una actividad generadora de los mayores problemas de salud para sus trabajadores y pobladores; es por ello que resulta fundamental la implementación de programas que contribuyan con la conservación del medioambiente, así como la salud de los seres que habitan en él. De esta manera, se concluye que para desarrollar la actividad minera es necesario contar, a su vez, con un proyecto para que este pueda ser desarrollado de manera sostenible, para así reducir los niveles de contaminación ambiental y los impactos desfavorecedore sobre la salud de la población, la flora y la fauna de un territorio.

3.2. Tipos de minería

La actividad minera mantiene una clasificación de acuerdo con el país donde se desarrolla. En las siguientes líneas se expondrá los tipos de minería más comunes.

A los tipos de actividades de explotación minera expuestos anteriormente, se agregan otras modalidades, que son la informal e ilegal. De acuerdo con la investigación de Díaz y Fernández (2018), la minería ilegal comporta el ejercicio de una actividad que no responde a las características propia de quienes hacen de ella una profesión correcta y ajustada a las exigencias del marco normativo que rige en la materia, por cuanto involucra zonas en donde su ejercicio es prohibido o implementación de equipos o maquinarias no acordes el cometido que persigue alcanzar. En consecuencia, la minería ilegal corresponde a toda aquella actividad minera que se realiza infringiendo las normas legales de un determinado territorio. Cabe resaltar que esta es practicada a gran escala, dado que se emplea maquinaria industrial y sin autorización de las organizaciones pertinentes.

Además, la minería informal también se haya presente y encuentra su soporte en la realización de un movimiento que no ha obtenido previamente los títulos habilitados por las autoridades o se encuentra en proceso de hacerlo, por esta razón, su utilización suele verse vinculada con la minería ilegal como mano de obra, por lo que requiere un seguimiento en la formalización de sus procesos.

3.3. Nociones de contaminación atmosférica

Actualmente, es una afección común en la sociedad, que altera continuamente el agua o el aire que es vital para el correcto funcionamiento de las necesidades inherentes a la condición humana, de ahí que, sea una contaminación que vulnere, destruya o desmejore gravemente la calidad de vida de los seres vivos, produciendo efectos negativos incluse en los elementos materiales.

Para Amable et al. (2017), la contaminación atmosférica corresponde a la presencia de elementos o sustancias que inmediatamente y de forma conjunta, generan un alto riesgo para el bienestar completo de las personas y por supuesto, de todo aquel ser que habite y se desenvuelva en el ecosistema, produciendo a su vez, el incremento de olores fuertes que, al ser ingeridos resultan desagrades. Por esta razón, se comprende que la contaminación atmosférica es una consecuencia de los mecanismos de procesos industriales que implica combustión, como los automóviles, calefacción y todo aquel que se identifique con la producción de dióxido y monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y azufre, así como la emisión de gases nocivos, como cloro o hidrocarburos que no completan el proceso de combustión.

Por otra parte, Ubilla y Yohannessen (2017) agregan que la contaminación atmosférica afecta especialmente a los sectores urbanos, dado que es en estas zonas donde hay mayor población y, por ende, un alto desarrollo industrial, disminuyendo de esta manera la calidad del aire, indicando con ello, que las zonas habitables mantienen una calidad de aire deficiente, generado precisamente por los cambios que traen consigo las nuevas tecnologías de combustión y la propia producción industrial, por más que las mismas generan un incremento en el sector económico.

Ante este acontecimiento, resulta prudente destacar que, determinados estudios realizados por personificaciones aptas en la materia, catalogan la contaminación del aire como una de las causas común en la producción de enfermedades e inclusive, en la mortalidad dentro una población, lo que implica el planteamiento de políticas para mantener los niveles de calidad del aire, para así contribuir al progreso de una población sana.

3.4. Nociones de clima y meteorología

Para Lozano (2018), el clima hace referencia a la estadística del tiempo atmosférico presente en determinaciones geográficas con elementos hidrológicos específicos que permiten la instauración de una organización geomorfológica y la intervención de componentes meteorológicos, los cuales conjuntamente contribuyen a la caracterización de un clima. El autor en comento fundamenta en dentro de los factores atmosféricos el clima es parte integrante, coadyuvando a la dinámica de los distintos elementos que definen el carácter ambiental dentro de una población determinada (bióticos, químicos, físicos, entre otros).

Para precisar el estudio del estado del medio atmosférico, es necesario destacar que el tiempo meteorológico se refiere al conjunto de características que presenta la atmósfera en un lugar y momento específico (p. ej. temperatura, humedad, viento, precipitación, presión, nubosidad, etc.) y que, todas estas variables, sus interacciones y sus manifestaciones tienen lugar en la tropósfera, bajo la estratósfera, de ahí su importancia como rama que conforma la ciencia de la física de la atmosfera, evaluando constantemente el estado del tiempo en un determinado instante, a la vez que intenta predecirlo en un futuro a corto plazo.

3.5. Tipos de contaminantes atmosféricos

La contaminación atmosférica se da por la expansión de gran variedad de gases, vapores, partículas y otros factores sobre el aire que, actuando de forma activa y conjunta, generan alteraciones en la calidad de vida del hombre, de la expansión de la fauna y flora y con ello, a los elementos o materiales necesarios para su correcto funcionamiento.

Tabla 2

Clasificación de los contaminantes atmosféricos

Tipo	Contaminante	
	primario	secundario
Compuestos de S	SO_2, H_2S	SO_3, H_2SO_4, MSO_4
Compuestos de N	NO, NH_3	NO_2, MNO_3
Compuestos Orgánicos de C	Compuestos C_1-C_7	Aldehídos, cetonas, ácidos
Óxidos de C	CO, CO_2	Ninguno
Compuestos de halógenos	HF, HCl	Ninguno

3.5.1 Contaminantes primarios

La definición aportada por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2016) es realmente precisa y determinante, toda vez que, señalan que son aquellos que se encuentran vinculados con las fuentes de emisión y que son comunes en la cotidianidad de las personas, porque proceden, por ejemplo, de los artefactos que se mantienen en los hogares para medir la calefacción o aquellos que forman parte integrante de un vehículo, como lo es su respectivo tubo de escape.

3.5.2 Contaminantes secundarios

Continúa expresando el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (2016) que suponen una presencia en el aire al constituirse como una reacción química suscitada por el choque entre dos o más contaminantes primarios. Ante estos fundamentos, se presentan los niveles máximos permitidos dentro de la emisión de los diferentes agentes contaminantes del aire en el orbe internacional.

Tabla 3
Valores permisibles internacionales

Parámetro	CEE[1] (ug/m^3)	OMS[2] (ug/m^3)	Digesa[3] (ug/m^3)	MEM[4] (ug/m^3)
PTS	–	120[b]	200[b]*	120
CO	1,150	30,000[c] 10,000[d]	30,000[c] 23,000[d]	35,000
SO_x	400,000	500[a] 100[b]	860[a] 172[b]	300
NO_x	650,000	200[a] 400[b]	200[b]	200
O_3	–	150 - 200[c], 120 - 100[d]	235[c]	200
Plomo	–	0,3	0,5	0,5

Nota: 1- CEE (Comunidad Económica Europea); Directiva 88/ 609/CEE.R.D. 646/1991
2 - OMS (Organización Mundial de la Salud)
3 - Digesa (Dirección General de Salud Ambiental)
4 - MEM (Ministerio de Energía y Minas)
a - 10 minutos
b - 24 horas * - no debe prologarse por más de una vez al año.
c - 1 hora
d - 8 horas

3.5.3 Condiciones climáticas y otros contaminantes

La contaminación del aire no solo está determinada por la propagación de gases y elementos tóxicos, también contribuyen otros factores, como aspectos meteorológicos, inversión térmica, gases halogenados, ozono (O3), metales, partículas y aerosoles.

a. Aspectos meteorológicos. Para Vidal et al. (2018), la contaminación atmosférica se encuentra asociada a procesos meteorológicos causados por factores naturales, como viento, humedad, entre otros; es por ello que tales condiciones son una influencia predominante en la extensión o propagación de contaminantes en el área atmosférica, determinando los valores que alteran la estabilidad en el aire.

b. Inversión térmica. Las organizaciones chilenas son contestes al señalar las condiciones normales de la tropósfera, manifestando que el aire cálido de la superficie terrestre tiende a enfriarse al ascender; sin embargo, cuando se produce la inversión térmica hace referencia a la interposición de una masa de aire caracterizada por una temperatura más caliente, que impide el proceso habitual de ascendencia, por lo que se forma una barrera para el aire frio que se encuentra debajo de dicha masa, dificultando de esta manera la dispersión de contaminantes de la superficie.

A su vez, la atmósfera tiene un comportamiento adiabático, esto quiere decir que ascender el aire adquiere un estado más frío, contrariamente a lo que sucede al descender, que es donde el mismo se calienta, distinguiendo un peso distinto entre una y otra por tales elementos que las identifican, pues estas últimas al ser más compactas, tienen menor volumen y mayor densidad, mientras que las masas de aire tienen mayor volumen y menor densidad. Asimismo, dicha institución indica que cuando no pueden ascender, esto empeora las condiciones de ventilación del entorno, al quedarse los contaminantes atmosféricos atrapados por dichas barreras.

De esta manera, la inversión térmica es uno de los factores que forman parte indudablemente a la contribución de la profanación del aire sin que exista intervención directa del hombre o la industria; sin embargo, cabe resaltar que se trata de una consecuencia de ellos.

c. Gases halogenados. Para Soler (2018), los gases se producen por la combustión completa de materiales que contienen cloro, bromo, flúor y azufre; la emisión de los gases puede ser reducida a través del control en la composición del combustible utilizado y tratando los gases de salida, dado que esto tiene efectos negativos sobre el medioambiente, causando lluvia ácida o calentamiento global; además, afecta la salud humana, llegando a ocasionar problemas respiratorios y cardiovasculares.

d. Metales. Según Soler (2018), los metales pesados y de transición, tales como cadmio, plomo, mercurio, cobalto, cromo, manganeso, níquel, entre otros elementos, como el antimonio y arsénico, que se hayan situados en los residuos de una extensa cantidad de materiales, los cuales suelen evaporarse a la temperatura en la que los hornos de combustión son trabajados, emitiéndose en la atmósfera en forma de aerosol o micropartículas, así, la contaminación por metales es nociva para la salud de la población y el medioambiente.

e. Partículas y aerosoles. Para Trelles (2018), las partículas o material particulado (PM) son entendidas de una forma sencilla, en razón a que se determinan por estar suspendidas en el aire en un estado sólido o líquido, destacando que, el caso de moléculas más pesadas es depositadas con mayor lentitud al ser emitida por fuente distinta a las otras sustancias que conforman tal elemento.

CAPÍTULO IV

INVESTIGACIÓN Y CASO DE ESTUDIO

CONFIGURACIONES MATEMÁTICAS PARA SIMULAR DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN MINERÍA: ESTUDIO DE CASO EN EL SECTOR MINERO DE CERRO DE PASCO

Es una manifestación que genera alteración ambienta causando mayores efectos negativos para toda clase de ser que habite y se rodee de la propia naturaleza, dado que repercute en la salud respiratoria y en el estado de bienestar de cada uno de ellos, es por esta razón que, a lo largo de las últimas décadas, se han desarrollado políticas ambientales para que el avance de la industria en todos los sectores económicos se desenvuelva de manera sostenible, bajo los estándares que cada país propone de acuerdo con sus necesidades y las de la población.

Así, en la búsqueda de una crítica analítica, objetiva y acorde a la realidad social vinculados con los componentes contaminantes, resulta prudente implementar el uso de equipos de monitoreo, los cuales no se encuentran disponibles en gran parte de industrias u organizaciones públicas o privadas, lo que implica, a su vez, un factor más que contribuye al esparcimiento de agentes contaminantes, como es el caso del sector minero, donde la extracción de minerales ocasiona estragos en las distintas necesidades del ser humano.

Por tal motivo, el caso en mención de configuraciones matemáticas con el objetivo de ilustrar en una escala creciente, la expansión de contaminantes atmosféricos en el área minera, implementando tal estudio en el Cerro de Pasco-Perú, el cual pretende determinar un modelo matemático para desarrollar un programa informático con fines técnicos y didácticos.

4.1. Clima y meteorología en Cerro de Pasco

En el área seleccionada las condiciones meteorológicas están representadas anualmente por dos estaciones opuestas entre sí, debido a que, los rayos del sol que directamente emanan de la Tierra, por ello, en los meses de abril a octubre, el cerro se cubre de la estación más cálida, con mayores temperaturas y pocas precipitaciones (verano); mientras que, de noviembre a marzo sucede algo distinto, pues la radiación solar disminuye considerablemente, haciendo del espacio uno más frío. En atención a ello, puede expresarse que el grado de calor específico del aire se mantiene entre 12.2 ºC a -1.2 ºC, caracterizado por la presencia de precipitaciones al año de 1,242 mm, con una humedad respectiva de 53 % aproximadamente y una presión meteorológica de 452 mm Hg.

Asimismo, en atención a los estudios realizados por Digesa-Pasco en el año 2016, mensualmente el Cerro de Pasco alcanza una velocidad intermedia de 1.55 m/seg. y una velocidad máxima de 6.31 m/seg, con lo cual puede concluirse que posee una orientación predominante de noreste a sudoeste.

4.1.1. Monitoreo de la calidad de aire en Cerro de Pasco

Las Tabla 4 y 5 muestran los resultados dentro de las dos estaciones definidas.

4.2. Objetivo general

Desarrollar un modelo matemático que permita ilustrar un reflejo de las partículas que incrementan la contaminación de la atmosfera, produciendo un riesgo considerable para quienes habitan el sector minero de Cerro de Pasco.

4.2.1. Objetivo específico

Elaborar una estrategia de control de los parámetros físico-químicos en la evaluación de las concentraciones de sustancias espaciales que se encuentran diseminadas Cerro de Pasco, específicamente, en el área destinada a la actividad minera.

Tabla 4

Resultados promedio de la primera medición en época de verano

Estación y Ubicación		SO_2 (ug/m³)	NO_2 (ug/m³)	PM 2.5 (ug/m³)	PTS (ug/m³)	Pb (ug/m³)
E-1	Campamento Noruega Alta	5.91	14.23	25.47	99.21	–
E-2	Puesto de Salud Túpac Amaru	8.28	6.19	23.36	64.48	0.38
E-3	Campamento Primero de Mayo	13.73	24.21	22.97	70.47	0.33
E-4	Reservorio de Agua Paragsha	5.74	8.89	–	40.81	–

Tabla 5

Resultados promedio de la segunda medición en época de invierno

Estación y Ubicación		SO_2 (ug/m³)	NO_2 (ug/m³)	PM 2.5 (ug/m³)	PTS (ug/m³)	Pb (ug/m³)
E-1	Campamento Noruega Alta	1.13	0.89	15.6	72.19	0.28
E-2	Puesto de Salud Túpac Amaru	1.2	1.30	19.7	38.94	0.23
E-3	Campamento Primero de Mayo	1.61	1.20	19.5	34.08	0.23
E-4	Reservorio de Agua Paragsha	1.49	0.40	8.1	11.07	0.23

4.3. Hipótesis general

El modelo matemático a desarrollar permite la constitución de un simulacro que ejemplifica la expresión de pequeñas partículas o productos secundarios que suponen un riesgo para el sector previamente delimitado.

4.3.1. Hipótesis específica

Los parámetros de control físico-químicos del modelo a desarrollar permiten evaluar las concentraciones de contaminantes atmosféricos dispersos.

4.4. Tipo de investigación

Mediante las líneas presentes, se pretende exhibir un trabajo de estudio aplicativo al divulgar condiciones metodológicas específicas de un sector destinado a la minería en el Perú, para lo cual son puestas en acción las proposiciones de la ciencia vinculadas a los ecosistemas, de ahí que, se busca a través de ella, la explicación de cómo los contaminantes atmosféricos se propagan activamente en el Cerro de Pasco.

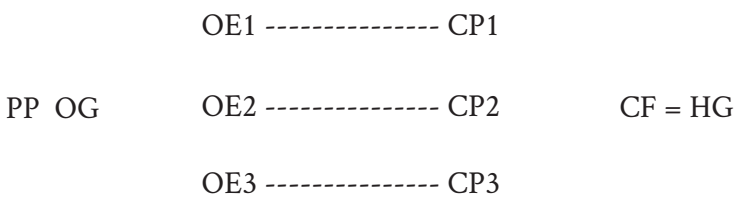
4.5. Nivel de investigación

Es un estudio investigativo que se caracteriza por ser descriptivo y hermenéutico, manifestando en razón a la naturaleza del área seleccionada, la corrección entre distintos componentes contaminantes.

4.6. Diseño de investigación

Es precioso para su comprensión, expresar que los objetivos propuestos alcanzar fueron esquematizados de la siguiente manera:

Figura 2
Diseño de investigación



Donde:

PP : Problema Principal

OG : Objetivo General

OE : Objetivo Específico

CP : Conclusión Parcial

CF : Conclusión Final

HG : Hipótesis General

4.7. Método de investigación

Con el objetivo de recoger los datos generadores y evidénciales de la presente investigación, se implementaron una serie de métodos relacionados al: análisis, síntesis, justificado, inductivo, descriptivo, estadístico, entre otros.

4.8. Sistema de variables

En atención a una percepción netamente metodológica, las variables establecidas reciben las siguientes denominaciones:

V.I. Variable Independiente: Modelamiento matemático.

V.D. Variable Dependiente: Simulación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos.

V. Int. Variables Intervinientes:

- Clima
- Humedad
- Altitud y otros

4.9. Factores para estimar la concentración de contaminantes atmosféricos

La dispersión de contaminantes depende de los siguientes factores

- El origen de residuos líquidos generados por ambientes domésticos, analizando sus componentes física y químicamente.
- Unidades meteorológicas ambientales.
- Respecto a la expansión de los contaminantes, se amerita determinar el espacio principal relacionado al movimiento del aire, junto a la especificación del terreno que refleja la dirección del viento en que se produce.
- Niveles de la agitación de la atmósfera.

Vale aclarar que, movimientos atmosféricos que se presentan en menor escala que la corriente media producidos por la velocidad cambiaria del viento, pueden originarse en dos formas: una que se caracteriza por generar la persistencia térmica de la atmósfera, toda vez que, las fluctuaciones vinculadas con la radicación solar producida en el espacio terrestre, supone la constitución de una condición superior de turbulencia convectiva: mientras que, hay otra forma que produce lo antes dicho mecánicamente, es decir, como una consecuencia nata del movimiento del aire, pudiendo provocar una turbulencia de mayor impacto.

Igualmente, para acercarnos más a las condiciones propias del Cerro de Pasco, puede decirse que, la cuenca atmosférica puede caracterizarse por la presencia de gases o de partículas, según sea el caso; sin embargo, si las circunstancia son determinantes, pudiese existir en tal espacio la apariencia de ambos, causa en la cual la sedimentación cuenta con bajos niveles, y el diámetro es igual o menor a 20 μm, de ahí que se establezca que, tanto las partículas como los gases son desplazados de forma igual y constante, por lo que se desplazan igual que el gas en el cual se encuentran sumergidas.

Manifestado esto, para la obtención de una aproximación respecto a los agentes que generadores de contaminación en el espacio atmosférico, tienen como modelos determinantes en la materia los siguientes:

$$TA = TFE - TFS + TG - TD$$

Donde:

TA : Tasa de acumulación

TFE : Todos los flujos que entran

TFS : Todos los flujos que salen

TG : Tasa de generación

TD : Tasa de destrucción

4.10. Clasificación de modelos para estimar la concentración de contaminantes

Para poder determinar ante qué tipo de contaminante se está, son implementados varios modelos, cada uno con un marguen matemático distinto, de aplicabilidad variada para analizar los datos que se presentasen. La representación gráfica que se presenta, expone de forma precisa, los aspectos positivos y negativos de cada uno, para ayudar a la especificación de los mismos.

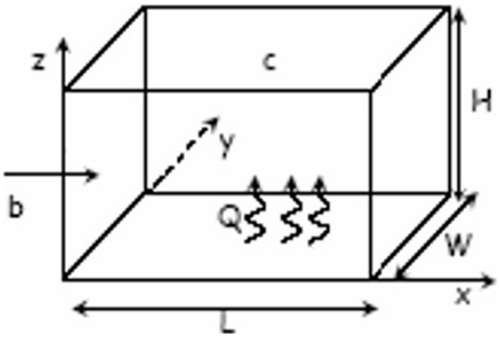
Tabla 6

Tipos de modelos para estimar concentración de contaminantes

Tipo de Modelo	Ventajas	Desventajas
Modelo de celda fija	Su fórmula matemática es de fácil entendimiento. No se amerita el saber determinado de un número específico de datos.	Hipótesis ideales; ejemplo: mezclado uniforme.
Modelo de dispersión	Formulación matemática caracterizada por ser un tanto compleja.	Hipótesis ideales; ejemplo: sin reacción química por parte de contaminantes.
Modelo de celdas múltiples	Se considera reacción química de los contaminantes, de gran utilidad en caso del ozono.	Se requiere conocer datos en masa.

4.10.1. Modelo de celda fija

Figura 3
Diagrama del modelo de celda fija



La Figura 3 exhibe la orientación de los ejes coordenados y las superficies de la celda.

Para alcanzar la obtención de una expresión matemática que represente el balance de materia en una celda fija, resulta necesario sustituir los términos pertinentes, por esta razón, en un estado estacionario, la tasa de acumulación es igual a cero; no obstante, dos de los flujos ingresan a la celda fija: uno es el producto uWHb, que entra por el lado de la ciudad opuesto al viento, donde uWH representa el volumen de aire que atraviesa la frontera del sistema en contra del viento por unidad de tiempo.

Continuando con lo expresado, el segundo flujo de contaminantes es emitido por la celda fija hacia la frontera inferior del sistema, expresado como:

$$Q = qWL$$

Así, según las hipótesis del modelo, la concentración total en la celda es c y la salida del contaminante solo puede ocurrir en el lado del viento. Por lo tanto, el flujo de salida está dado por uWHc. EL resultado que luego de todo se expresa como:

$$c = b + \frac{qL}{uH}$$

Así, se amerita de un repartimiento de frecuencias para alcanzar el promedio de un contaminante anualmente, siendo estas:

$$(PA) = \Sigma(CCM) \times (fCM)$$

Donde:

PA : Promedio anual de la concentración

CCM : Concentración para una condición

fCM : Frecuencia con la que se presenta la condición meteorológica

Las suposiciones por las cuales se expresa la utilidad de esta categorización de modelo, se vinculan a:

- En una ciudad de forma rectangular con dimensiones W y L, uno de los lados está alineado con la dirección del viento.
- La perturbación atmosférica permite la mezcla total de contaminantes hasta la altura H, pero por encima de esta altura no hay mezcla.
- El viento se expande en el eje x con velocidad constante u, independiente de la época, asiento o prominencia sobre la superficie.
- En el acceso de la celda en x = 0, el conjunto de contaminantes es inquebrantable y se representa como b.
- La demostración de contaminantes (Q) se calcula multiplicando la emisión por área (q) por el área de la celda fija: $Q = q \times A$; este valor no varía con el tiempo.
- Las sustancias perjudiciales no entran ni salen por los lados paralelos al viento ni por arriba de la celda.
- El agente contaminante posee una existencia mediana que hace su tasa de destrucción despreciable y cero.

Igualmente, para alcanzar una comprensión más completa, es prudente manifestar ante qué desventajas está presente el modelo de celda fija, donde se destaca que no es posible la determinación de la cantidad de fuentes pequeñas a partir de las cuales se constituyen los contaminantes respecto a aquellas que son supe-

riores en magnitud; además que, la mezcla que presente en el interior de la celda abarca una circunstancia completamente ilusoria.

4.10.2. Modelo de dispersión

El elemento que permite distinguirlo frente a otros modelos, es la difusión que presenta, vinculada con una base de distribución probabilística gaussiana, razón por la cual, valdría ahora exponer los aspectos que son desarrollados, entendiendo así:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\,(2\pi)^{½}} + \exp\left[\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Precisando la fórmula expresada, conviene declarar que para cualquier número real μ y σ, donde σ es mayor que cero y representa la dispersión habitual, el valor de $f(x)$ descriptivamente incumbe a la elevación vertical sobre el eje horizontal. Por tanto, el parámetro μ exterioriza el camino del valor superior de la función en el eje x, y la órbita es proporcionada y armónica con respecto a μ. No obstante, no puede pasarse por alto, otro elemento de relevancia significativa que posiciona el área inferior a ella se mantiene igual a uno, lo que refleja que el coste de σ determina si la curva es más ancha o estrecha, conservando el área general igual a uno.

Visto así, en la realidad específica del modelo de dispersión de contaminantes, es utilizado frecuentemente un repartimiento gaussiano en su doble vertiente: esto es, en las direcciones de los ejes coordenados y e z, lo cual es realizado con el ideal de expresar en forma de simulacro, el comportamiento de una o varios orígenes de emisión (ya sea a nivel del suelo o a una altura delimitada). La expresión matemática para este tipo de distribución es la siguiente:

$$f(y,z) = \frac{1}{2\pi.\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\frac{-(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^{\,2}} + \frac{-(z-\mu_z)^2}{2\sigma_z^{\,2}}\right]$$

4.10.3. Modelo de celdas múltiples

En el orbe, es un modelo que se distingue de otros al producir una división (en tamaños diversos) entre el aire que se sitúa en la superficie en la determinadas celdas, manteniendo cada una de ellas su respectiva autonomía e independencia respecto a otras, de ahí que, sea conocido bajo las siglas UAM, (*Urban Airshed*

Model), permitiendo direccionar una aplicabilidad a una serie de agentes secundarios que escapan del interés del trabajo expresado, por estar enfocado en la contaminación por ozono.

En alusión a lo visto, los parámetros necesarios para calcular la concentración de un contaminante en una celda incluyen la velocidad y trayectoria del viento en el centro, las emisiones al marguen del suelo del agente contaminante, los cálculos de los cambios químicos y los informes de la deposición del contaminante. Todos estos elementos se integran en el balance de materia de la ecuación de tasa de acumulación. Sin embargo, este modelo presenta la negativa de requerir una gran cantidad de información y esfuerzo para su solución y programación en un paquete informático.

Los modelos orientados a la fuente son tres tipos explicados anteriormente, pero, cuando la información sobre las tasas de emisión y la meteorología del lugar es limitada es recomendable la implementación de modelos orientados al receptor, que consisten en la realización de estudios experimentales con contaminantes recolectados en uno o más sitios de monitoreo para decretar las fuentes que contribuyen a la concentración en el receptor. Por esta razón, es esencial que los agentes que afectan la calidad del aire sean materia particulada o gases sin reacción química, ya que, en caso de suceder lo adverso, serán químicamente diferentes, lo que dificulta distinguir entre los posibles comienzos de contaminación.

Entonces, esbozando un poco la finalidad de este modelo, su elección depende del acercamiento respecto a la existencia de sustancias infectadas en el aire, motivo por el cual se efectuó una observación anticipada para explorar los siguientes puntos:

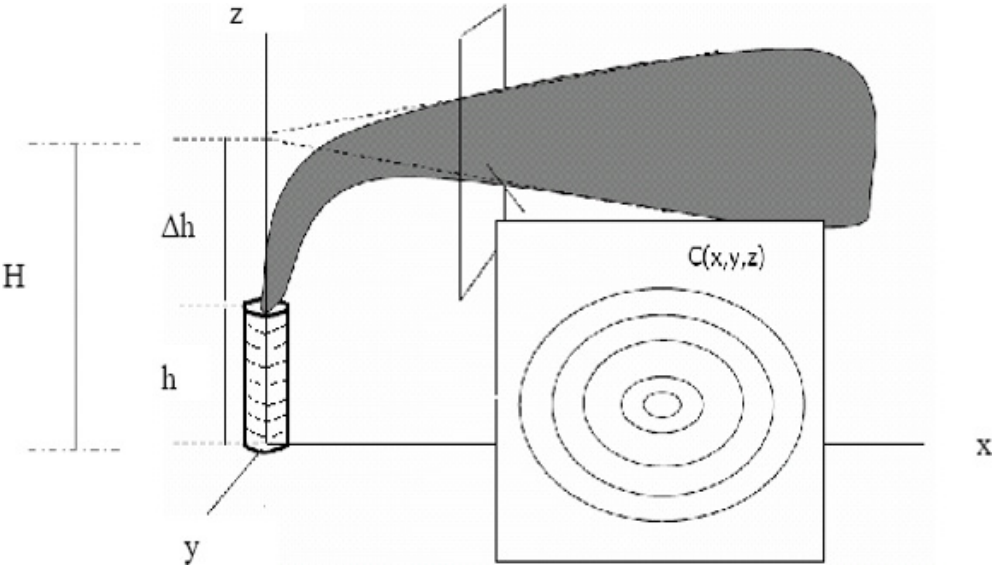
- La caracterización de la existencia y estado del contaminante
- El espacio y la dimensión necesaria para el procesamiento de información.
- Las características tridimensionales de la superficie terrestre.
- La escala del medio y espacio atmosférico.
- La mano obrera vinculada a los recursos informáticos y humanos

- Los implementos utilizados para la apreciación del modelo y su posterior convalidación en la data a experimentar.

4.10.4. Modelo base de dispersión Gaussiana

Figura 4

Modelo base de dispersión con la fuente virtual a una altura efectiva H de la chimenea



La Figura 4 representa el modelo base de la dispersión gaussiana, a partir del cual se considera la elevación adicional de la pluma h (la de chimenea) en el entendido de que los gases a temperatura ardiente flotan, provocando consecuentemente, la dinámica volitiva al salir de la propia chimenea, la cual se presenta de forma vertical por tanto se manifiesta:

$$H = h + \Delta h$$

Donde:

Δh expresa la elevación de la pluma.

H altura efectiva

h pluma

Las conjeturas que son tomadas en cuenta en la fórmula matemática son:

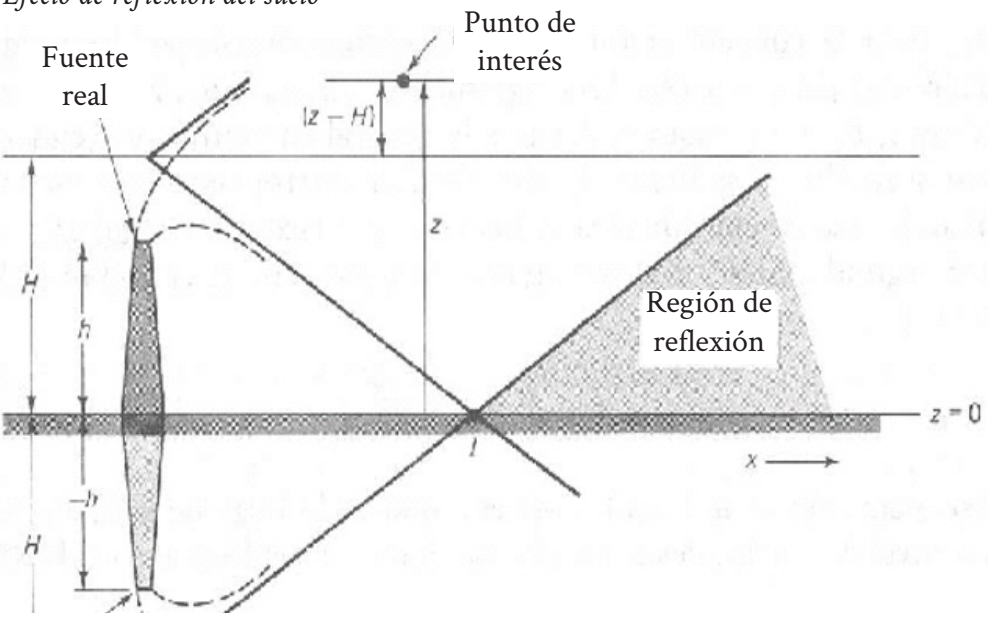
- Perfeccionamiento del modelo para la instauración de un curso estacionario.
- La extensión de masa resulta ordinaria respecto a la dirección del eje x
- La rapidez del viento u es incesante, toda vez que, las variaciones que presenta en sus distintos ejes son de un tamaño minúsculo.
- El germen puntual es encontrado x = 0 y la altura efectiva de dicha fuente de emisión (chimenea) es H.

Conviene así expresar, que para el desarrollo de un modelo que pueda presentarse como la base del estudio elaborado, se precisa de una fórmula en donde ls componentes lesivos sean derivados desde la altura de la chimenea misma, al ser esta precisamente la fuente de emisión, describiéndola de esta manera:

$$C = \frac{Q}{2\pi.\mu.\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^{\,2}}\right] + \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^{\,2}}\right)$$

Figura 5

Efecto de reflexión del suelo



La alteración de la ecuación se basa en la premisa de que el contaminante se propaga desde el suelo a la atmósfera y se refleja a una distancia x determinada, lo que sugiere que el suelo no absorbe dicho contaminante. Para modelar esto, se requiere emplear una fuente ficticia ubicada en z = –H, x e y = 0, que actúa como un reflejo especular de la fuente real, como se ilustra en la Figura 5.

Se destaca de esta forma la obtención de una concentración más elevada de la esperaba, esto debido a que se presentó una intercalación de dos curvas gaussianas; una que versa o recae sobre fuente virtual en H y la otra en -H. La formulación matemática se ejemplifica en la siguiente ecuación:

$$C = \frac{Q}{2\pi.\mu.\sigma_y\sigma_z} \exp\left[\exp - \left(\frac{y^2}{\sigma_y^{\,2}}\right)\right]\left[\exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^{\,2}}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^{\,2}}\right)\right]$$

No obstante, pudiese darse el caso de que la expresión del modelo del esparcimiento gaussiana sea más reducida, la cual le compete al nivel del suelo, expresándose:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi.x.(\sigma_y\sigma_z)^{½}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^{\,2}} + \frac{z^2}{\sigma_z^{\,2}}\right)\right]$$

Con ello, para poder determinar las ecuaciones mencionadas con anticipación, es implementada una nomenclatura acorde a los elementos de cada una, representando:

C : Concentración del contaminante en μg/m3

Q : Emisión del gas en g/s

z : Distancia en el eje z en m

y : Distancia en el eje y en m

h : Altura del punto de la fuente de emisión (altura de la chimenea) en m

H : Altura efectiva de la fuente donde se inicia la dispersión en m

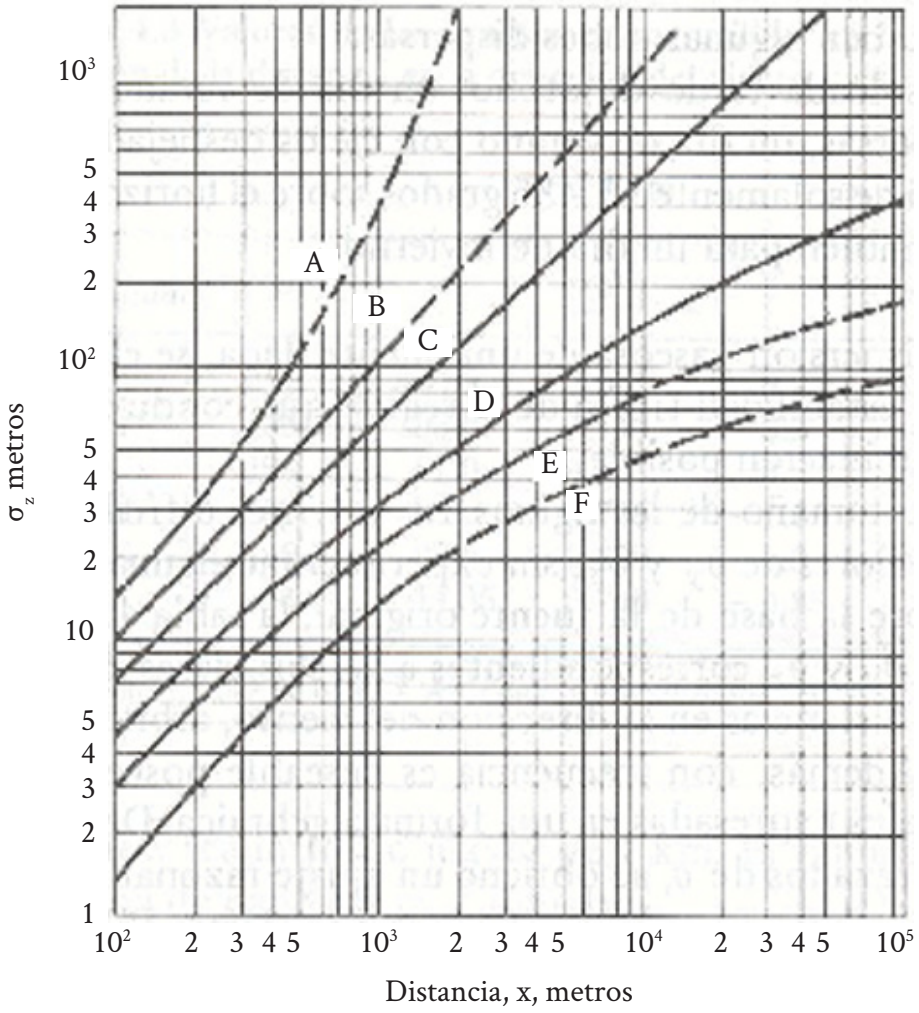
σy : Desviaciones normales horizontales y

σz : Desviaciones normales verticales, respectivamente

De esta manera, resulta prudente traer a colisión una determinacion adjuntada en la obra *Para Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates* del conocido e ilustre Turner, quien mediante sus líneas señala abiertamente respecto a las desviaciones comunes, una serie de monogramas para así lograr el acercamiento deseado acercar sobre el valor de σ_y y σ_z, que se muestran en las Figuras 6 y 7, respectivamente.

Figura 6

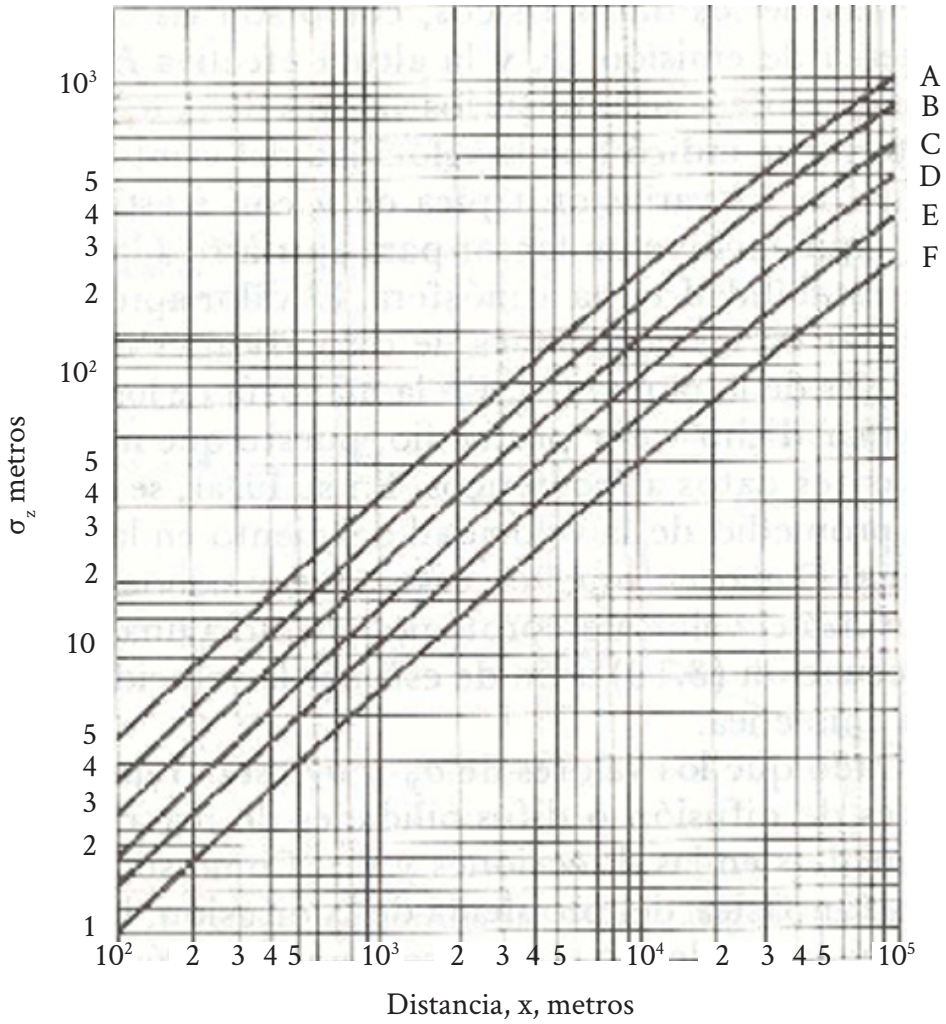
Desviación normal σ_y



Nota: Desviación normal σ_y, en dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento

Figura 7

Desviación normal σ_z



Nota: Desviación normal σ_z, en dirección del viento cruzado como una función de la distancia en la dirección del viento

Igualmente, en la maniobra de las correspondientes interrelaciones, se vislumbra una opción propuesta por McMullen (1975), expresada de esta manera:

$$\sigma = \exp[I + J(\mathrm{Ln}x) + K(\mathrm{Ln}x)^2]$$

Donde:

σ : Desorientación estándar del conjunto de contaminantes, independientemente de que sea horizontal σy o vertical σz.

Ln*x* : Logaritmo natural de la trayectoria de la superficie terrestre indicada en kilómetros.

I, J, K : Variables empíricas para una condición de persistencia e inamovilidad proporcionados a cada valor de σ. Las constantes I, J, K se obtienen de la Tabla 7.

Tabla 7

Valores de I, J, K para σ_y *e* σ_z

Condición de estabilidad	I	J	K
Para σ_y			
A	5,357	0.8828	–0.0076
B	5,058	0.9024	–0.0096
C	4,651	0.9181	–0.0076
D	4,230	0.9222	–0.0087
E	3,992	0.9222	–0.0064
F	3,553	0.9181	–0.0070
Para σ_z			
A	6,035	2,1097	0.2770
B	4,694	0.0136	0.0136
C	4,110	–0.0020	–0.0020
D	3,414	–0.0316	–0.0316
E	3,057	–0.0450	–0.0450
F	2,621	0.6564	–0.0540

Nota: Valores de I, J, K para σ_y e σ_z en función de la distancia a nivel de piso y condición de estabilidad

Por lo tanto, se reitera de esta forma, que las constantes I, J, K fueron obtenidas en razón al arreglo que fue presentado por un método de pequeños cuadrados de la función matemática de las curvas planteadas por Turner.

No obstante, hay otros autores como Delance O. Martin (1976) que manifestaron otra forma para lograr la estimación de correlaciones distintas de valores de σ_y y σ_z:

$$\sigma_y = ax^b$$

$$\sigma_z = cx^d + f$$

Las variables a, c, d y f son cambiantes en razón a la clasificación de estabilidad (Pasquill), mientras que b tiene un valor permanente de 0,894; además, x representa la distancia en el eje horizontal, la cual se debe indicar en kilómetros.

De ahí que, en las Tablas 7 y 8 sean presentadas a cabalidad las clasificaciones de estabilidad en función de la velocidad del viento (a 10 metros de altura) y los valores de las constantes para calcular σy y σz de manera consecuente.

Tabla 8
Categorías de estabilidad (Pasquill)

Velocidad del viento (m/s) a nivel promedio del suelo a 10m de altura	Día			Noche	
	Radiación solar incidente			Nubosidad	
	Fuerte (mayor de 50 cal/ cm² h)	Moderada (entre 25 y 50 cal/ cm² h)	Débil (menor que 25 cal/cm² h)	= 4/8	= 3/8
< 2	A	A – B	B	F	F
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Es importante tomar en cuanta la relevancia que suponen las claves de cada clase atmosférica:

- A: Es la que mayor inestabilidad presenta.
- B: Su desequilibrio se presenta de forma moderada.
- C: Normalmente no supone un alto nivel de inseguridad.
- D: Su posición es neutra.
- E: Tiende a acercarse a un grado moderado de control.
- F: Es la que más alta estabilidad posee.

En el área comentada, se involucra ciertos intentos de derramamiento de contaminantes, en atención a que, resulta provechoso que la atmósfera esté en una condición inestable, con el objetivo de incrementar e incentivar el movimiento ascendente del aire en la superficie, lo que comúnmente suele acontecer en las horas tempranas del día, pues justo en esta dimensión temporal es que se manifiesta el aumento de la temperatura por radiación solar en el aire cercano al plano terrestre, volviéndolo más ligero que el aire que habita la atmósfera superior, lo cual termina repercutiendo ante el movimiento continuo que es producido ante la ascendencia del aire cálido y su respectiva mezcla con el aire frío y denso en la parte superior, para luego descender nuevamente.

Por otro lado, se precisa conocer la inversión térmica, que es un fenómeno que se caracteriza por una condición estable que obstaculiza gravemente la dispersión de los componentes dañinos para la atmosfera, por el simple hecho de que, el aire más cálido predomina frente al aire frío, impidiendo la mezcla vertical. Como muestra la Tabla 9

4.11. Cálculo de la elevación de la pluma

Con anterioridad a la disipación, la pluma que emerge de la chimenea experimenta una elevación debido a la inclinación vertical generada por su velocidad definida y a la capacidad de flotación de los gases a un estado térmico superior al debido.

Tabla 9

Valores de las constantes para el cálculo de σ_y y σ_z

	x ≤ 1 km				x > 1 km		
Estabilidad	**A**	**C**	**d**	**f**	**c**	**d**	**f**
A	213	440.8	1,941	9.27	459.7	2,094	-9.6
B	156	106,6	1,149	3.3	108.2	1,098	2
C	104	61	0.911	0	61	0.911	2
D	68	33.2	0.725	–1.7	44.5	0.516	–13
E	50.9	22.8	0.678	– 1.3	55.4	0.305	–34
F	34	14.35	0.740	– 0.35	62.6	0.180	– 48.6

Nota: Valores de las constantes para el cálculo de σ_y e σ_z como una función de la distancia en la dirección del viento y de la condición de estabilidad

Por tanto, al momento de calcular la altura del penacho son considerados los factores como sus peculiaridades, escenarios atmosféricos e indudablemente, la propia composición del efluente, de ahí que, sean diversas las fuentes bibliográficas, inclusive se integran a las mismas los estudios de Carson y Moses, las que han comparado las resultas alcanzadas mediante disímiles ecuaciones. Por ende, tanto Carson como Moses han observado que la elevación del gas expuesto por la chimenea, ocasionada por su velocidad (Vs), y la fluctuación térmica, derivada de las diferencias entre la temperatura del gas emitido (Ts) y el estado de calor ambiental (Ta), son aspectos comunes en sus respectivas reflexiones, llegando a una conclusión que es resumida en una correlación específica:

$$\Delta h = 0.029 \frac{V_s D}{u} + 2{,}62 \frac{(Q_h)^{½}}{u}$$

En donde:

Δh : Altura de la pluma en m

V_s : Velocidad de la partida del gas respecto a la chimenea en m/s

d : Diámetro de salida de la chimenea en m

u : Velocidad del viento a una inclinación de la chimenea en m/s

Q_h : Tasa de emisión de calor en KJ/s

No obstante, otra es el análisis para especificar Q_h, entendido por esta:

$$Q_h = mC_p(T_s - T_a)$$

En donde:

m = Caudal másico del gas en la chimenea en kg/s

C_p = Calor específico a presión constante del gas de la chimenea en KJ/ kg.K.

T_s = Temperatura del gas de emisión a la salida de la chimenea en K.

T_a = Grado de calor concreto frente al aire atmosférico en los cielos de la chimenea en K.

Igualmente, hay que señalar cómo se mide y calcula el flujo másico, para cual se utiliza:

$$m = \frac{\pi d^2 V_S P}{4RT_S}$$

En donde:

P: Presión barométrica a la salida de la chimenea en KPa

R: Constante universal de los gases; 8,31451 J/mol.K

Vale destacar en esta oportunidad, las fórmulas matemáticas que se ameritan para alcanzar la determinación del estado o grado atmosférico, donde se tiene:

Condición inestable: $\Delta h = 3{,}47 \frac{V_S d}{u} + 5{,}15 \frac{Q_h^{0,5}}{u}$

Condición neutral: $$\Delta h = 0{,}35 \frac{V_S d}{u} + 2{,}64 \frac{Q_h^{0,5}}{u}$$

Condición estable: $$\Delta h = 1{,}04 \frac{V_S d}{u} + 2{,}24 \frac{Q_h^{0,5}}{u}$$

Sin embargo, para calcular la subida de la pluma otros autores han sido contestes al manifestar de forma expresa mediante sus líneas analíticas, la manera en cómo deben ser determinada la flotabilidad de la misma, para lo cual utilizaron la altura de las estructuras mecánicas de la industria, de donde obtuvieron 10 posibles ecuaciones, para a través de ellas, lograr concluir que lo propuesto por Holland se haya corroborado en las observaciones puestas, aun cuando este subestima la elevación de la pluma respectiva. Así, se mencionó:

$$\Delta h = \frac{V_S d}{u}\left[1{,}5 + 2{,}68 \times 10^3 Pd\left(\frac{T_s T_a}{T_s}\right)\right]$$

Para la correspondencia, fue implementada la misma nomenclatura

$$\Delta h = 0{,}029 \frac{V_S d}{u} + 2{,}62 \frac{Q_h^{½}}{u}$$

No obstante, no puede dejarse pasar por alto, que la presión (P) amerita encontrarse expuesta en milibares, destacando a través de ello, que cuando lo que se trate sea una fuente de emisión puntual, caracteriza por poseer alturas superiores, es presentada una mayor exactitud.

Ahora, Holland presenta una variante de la ecuación de esta forma:

$$\Delta h = \frac{V_S d}{u} 1{,}5 + 0.0096\left(\frac{Q_h}{V_S d}\right)$$

Lo cual es afianzada mediante la correlación que consagra el ideal de Concawe, quien la presenta en la utilización del cómputo de la flotabilidad de la pluma:

$$\Delta h = 2{,}71 \frac{Q_h^{1/2}}{u^{3/4}}$$

Así se evidencia que entre una y otra, no existe diferencias considerables respecto a la nomenclatura.

Además, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) emplea rigurosamente la fórmula de Briggs para efectuar el cálculo referido a la flotabilidad de la columna de humo, el cual se haya ajustado con información práctica, ofreciendo unas consecuencias más favorecedoras que el resto de ecuaciones. En el contexto de investigaciones en instalaciones que queman carbón, se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta h = \frac{114CF^{1/3}}{u}$$

Aquí la invariable 114 se encuentra caracterizada por poseer unidades de $m^{2/3}$, determinando F por medio de:

$$F = \frac{gV_S d^2(T_s - T_a)}{4T_a}$$

Consecuencialmente, para sacar C es tomada en consideración el incremento de la gravedad, empleando:

$$C = 1.58 \times 41{,}4 \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta z}\right)$$

En donde:

$\frac{\Delta\theta}{\Delta z}$ es la gradiente de temperatura potencial en K/m.

Lo beneficioso de ello recae precisamente en lograr un ajuste en el equilibrio atmosférico, empleando para tal cometido el gradiente de temperatura potencial, pues con él se suministra la flexibilidad requerida.

4.12. Correlación de la velocidad

Conviene expresar, que la apariencia de árboles, antenas y edificaciones generan una alteración en el patrón de velocidad del viento por la constante fricción que es producida por la rugosidad de la superficie, siendo de vital importancia tomar en consideración la cómo lograr identificar la variación de la velocidad del viento dependiendo del tipo de terreno, ya sea urbano o rural, una vez se hubiere comprobado la dispersión de contaminantes.

Además, es necesario ajustar la velocidad del viento, para así alcanzar la determinación de una altura de 10 metros, mientras que en la fuente virtual, ubicada

a la altura de la chimenea emisora fija, puede ser desigual a la altura internacionalmente acordada.

Entonces, a partir de lo dicho, se requiere una opción que permita increpar la rapidez del viento (U), tomando en cuenta dos aspectos: la caracterización del suelo y la superficie alta donde se haya ubicada la fuente de emisión:

$$U_2 = U_1\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^n$$

Donde:

U_1: Velocidad del viento a la altura de referencia en m/s

U_2: Velocidad del viento a la altura efectiva de la chimenea en m/s

H_1: Altura de referencia en m

H_2: Altura efectiva de la chimenea en m

n: Constante

Tabla 10
Valores de la constante n empleada en la ecuación $\mathbf{U_2 = U_1\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^n}$

Estabilidad atmosférica	Superficie	
	rural (n)	urbana(n)
A	0.10	0.15
B	0.15	0.15
C	0.20	0.20
D	0.25	0.25
E	0.25	0.40
F	0.30	0.60

4.13. Población

La dimensión humana comprendida en el estudio presentado se asienta en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco, incluyendo respectivamente, el sector minero y área urbana. Opcionalmente, se realizó una encuesta de carácter cualitativo a 100 personas relacionadas con el *modus vivendi* del sector minero.

4.14. Muestra

La muestra fue calculada de manera aleatoria y representativa en tres distritos de la ciudad comentada, incluidos los elementos contaminantes más significativos de SO_2, NO_2, $PM^{2,5}$, PTS y Pb en ($\mu g/m^3$).

Tabla 11

Distritos y localidades de Cerro de Pasco seleccionados para la muestra

Sectores (Distritos)	Localidad
Chaupimarca	Centro de la ciudad, sector Túpac Amaru y otros.
Yanacancha	San Juan P., Pucayacu y otros.
Simón Bolívar	Paragsha, Champamarca, Buenos Aires y otros.
Total	**3 localidades de Cerro de Pasco**

Del mismo modo, la muestra fue de 100 personas para el análisis cualitativo.

4.15. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.15.1. Técnicas

- Observación documental y conductual
- Entrevista
- Encuesta
- Cuestionario de evaluación
- Análisis bibliográfico

4.15.2. Instrumentos

- Cuestionarios de observación.
- Interrogatorio de entrevista.
- Cuestionario frente a una encuesta.
- Análisis del contenido de reportes.

4.16. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los niveles de concentración que fueron previamente seleccionados abarcan desde de 500, 1,000 y 2,500 $\mu g/m^3$ con el objetivo de perfeccionar el examen de las superficies, así: principalmente, fueron elaborados representaciones gáficas individuales para cada uno de los niveles mencionados, ello sin aplicar ajustes en la velocidad del viento ni calcular la elevación de la emisión; seguidamente, se implementó la utilización de un simulador para así lograr la recopilación datos para una concentración de 500 $\mu g/m^3$ con correcciones en la velocidad del viento basadas en la topografía del terreno.

Entonces, para alcanzar lo requerido, al simulador deben ingresar determinados datos, entre ellos:

- Velocidad del viento a 10 m: 4 m/s.
- Tasa de emisión de gas: 100 g/s.
- Altura física de emisión: 50 m.
- Distancia máxima en el eje x para los cálculos: 25 Km.
- Distancia máxima en el eje y para los cálculos: 40 m.
- Distancia máxima por defecto para el eje z: 2 veces al de altura física de emisión: 100 m.

Del mismo modo, entró en el marco de consideración, la fabricación de una única superficie que estuviere caracterizada por la presencia de las tres concentraciones referidas a: 500, 1,000 y 2,500 $\mu g/m^3$.

4.17. Tratamiento estadístico

Los datos recolectados se ingresaron a través del Microsoft bloc de notas 5.1, como intermediario entre el *software* diseñado para el referido proyecto de investigación; cuyo nombre denominamos Simulación para la Dispersión de los Contaminantes Atmosféricos (Simdica) y, simultáneamente, el Matlab 6.0, donde se escribieron las matrices en archivos de textos ya resaltados. Así, inspección para cualificar el estado de los datos que conforman la base fue puesto en práctica el *software* SPSS 12.2.

El estudio elaborado se presentó a través de:

a. Un examen descriptivo. En esta etapa fue realizado el análisis del repartimiento de las frecuencias tanto absolutas como relativas, utilizando para ello, unas medidas de tendencia central junto al de esparcimiento (desviación estándar).

b. Estimación de prevalencia e intervalos de confianza. Se estimó mediante el ajuste linealizado de Taylor, haciendo uso del *software* Stata 8.2.

c. Análisis de asociación. Se llevó a cabo un análisis bivariado calculándose los odds ratio (OR). Se calcularon los OR crudos (no ajustados) a partir de tablas de 2 × 2. Posteriormente, se estimaron los OR ajustados mediante un modelo de regresión logística para muestras complejas, usando el *software* Stata 8.2.

   El modelo final multivariado incluyó todos los predictores estadísticamente significativos ($p < 0.05$), y aquellas variables que después de la evaluación resultaron ser confusas. Se excluyeron aquellas de baja frecuencia y las variables que causaban colinealidad. La evaluación de puntos influyentes se hizo a través de las distancias de Cook y Levene.

d. Análisis geoespacial. Fue utilizado el sistema de información geográfica (SIG) para georreferenciar los tres puntos de muestreo, ubicándose las principales fuentes de contaminación fija, móvil y la de rosa de vientos. Para ello, se utilizó el software Arc View 3.2.

En el análisis se delimitaron áreas de influencia (*buffers*), estableciendo un radio de influencia mayor de 500 m para las industrias (fuentes fijas) y de 300 a 500 m para representar la influencia del parque vehicular que transita por las principales avenidas y calles (fuentes móviles) de la ciudad del Perú, aunado a la ubicación de la urbe por estrato de exposición a los contaminantes del aire. Además, se colocó la rosa de corrientes, para apreciar la trayectoria predominante del viento; para ello se empleó el *software* Arc View 3.2.

4.18. Resultados cuantitativos

El estudio se realizó en la cuenca atmosférica de la ciudad minera de Cerro de Pasco, entre los meses de mayo a agosto del 2011, según el cronograma del proyecto, ejecutándose el 100 % de lo asignado en la muestra, el mismo que presenta los siguientes resultados:

Al comenzar, fueron efectuados gráficos individuales para las isoconcentraciones de 500, 1,000 y 2,500 $\mu g/m^3$ sin que fuese necesario modificar las peculiaridades de cada ecuación aplicable respecto al aumento de la pluma y el relieve del suelo, tomando en consideración la elaboración de una representación gráfica con la cual pudiese exhibirse las tres facetas juntas (Figura 11). No menos importante resulta, la apreciación del progreso y crecimiento de la concentración de la medida, la cual pudiere ser localizada en superficies de menor escala, esto es lo que sucede cuando se está ante la concentración de 500 $\mu g/m^3$, encontrándose a una altura de hasta 100 m; para 1,000 $\mu g/m^3$, en donde la altura máxima es de 85 m y para 2,500 $\mu g/m^3$ es de 70 m.

Igualmente, se vislumbra un contexto que reviste de cierta similitud en los ejes x e y, donde es apreciable en la concentración de 500 $\mu g/m^3$ que los valores máximos en ambos ejes son 2,9884 km y 118.50 m respectivamente. En cambio, lo que caracteriza a 1,000 $\mu g/m^3$, son los valores de 5442 km y 78.49 m; para 2,500 $\mu g/m^3$, son 0.7972 km y 48.03 m; aspectos que, al contrastar resultados, evidencian que mientras más reducido sea la cantidad del contaminante, su esparcimiento es más fácil ante la mayor cantidad de movimiento.

Vale destacar, que otra de las particularidades que refleja las superficies manifiestas en las Figuras 9, 10 y 11 es la exteriorización de un punto máximo a lo largo de los ejes x e y, mostrando una altura de dispersión de 50 m, lo cual encuentra fundamentación en el punto de emisión que se hace presencia a tal altura, permitiendo con ello, corroborar que mientras se esté ante un punto

la dispersión tiende a subir, mientras que, al investirse tal comportamiento, se produce la disminución del contaminante, obteniendo por tanto, una proyección en el plano (∠yz) que representa una parábola a la mitad.

Figura 8

Concentración 500 µg/m³, categoría de estabilidad D

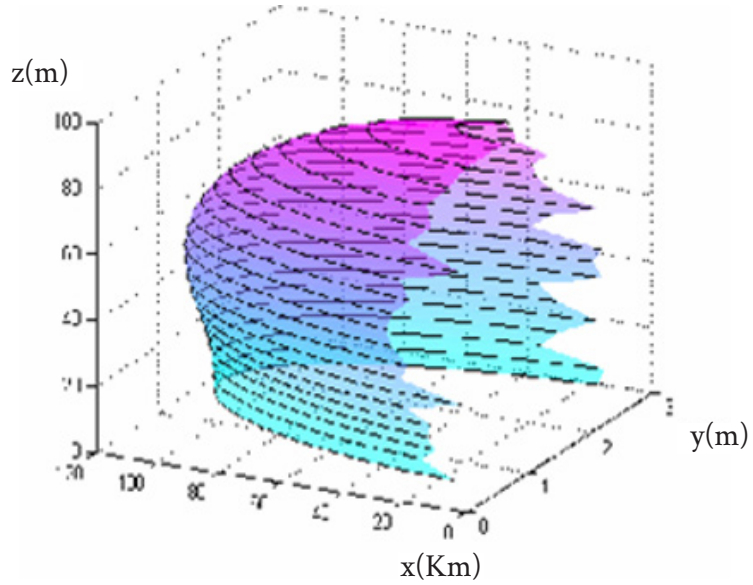


Figura 9

Concentración 1000 µg/m³, categoría de estabilidad D

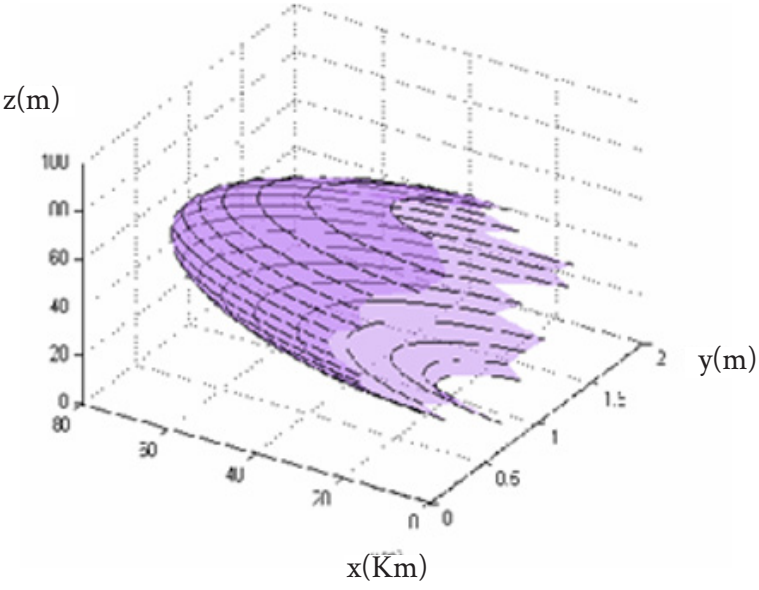


Figura 10
Concentración 2,500 µg/m³, categoría de estabilidad D

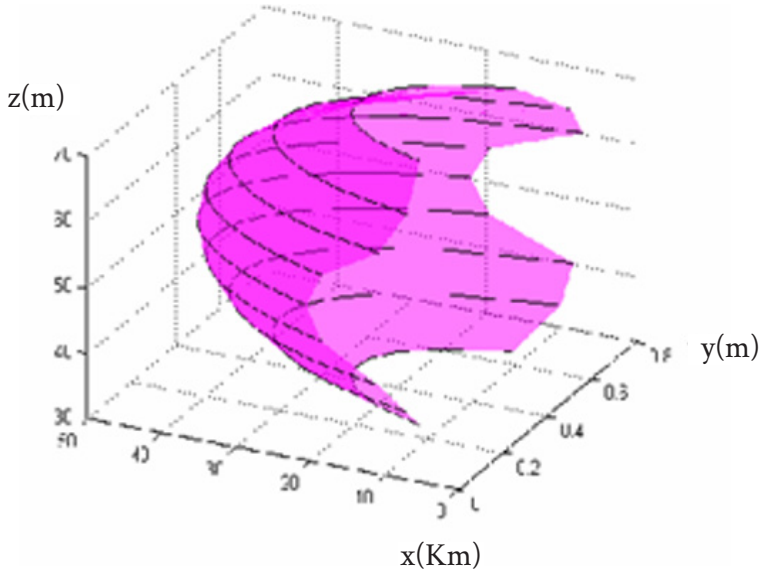
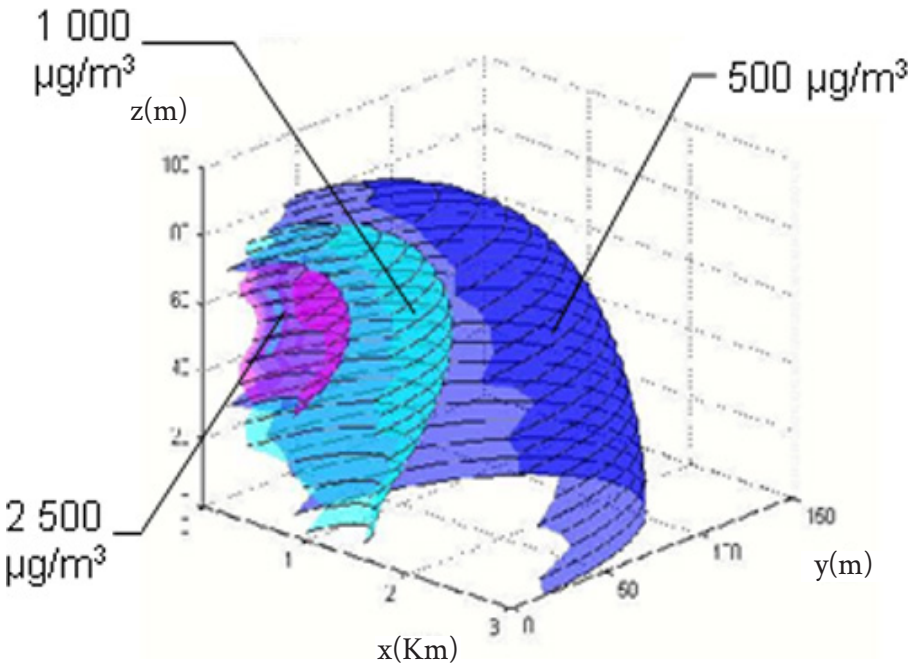


Figura 11
Concentraciónes 500, 1,000 y 2,500 µg/m³, categoría de estabilidad D



Resultó prudente la realización de un análisis extra, cuya necesidad se vio sustentada al tener que seleccionar una concentración específica, elaborando superficies separadas para la configuración del suelo tanto de índole rural como urbana, con la finalidad de estudiar cómo afecta la dispersión de contaminantes modificados en el modelo gaussiano general, de ahí que sea transcendental lo reflejado por la Tabla 23 en los anexos, puesto que, en la clase neutral D no hay disconformidades al corregir el suelo al ser constante n , manteniendo el mismo valor tanto para la superficie urbana como para la rural, por lo tanto, la aplicabilidad de una condición estable fue expresada utilizando la categoría de estabilidad F y otra superficie para una condición inestable, A.

La isoconcentración que fue implementada para procurar la meta delimitada, responde a la de 500 $\mu g/m^3$, en el entendido de que esta es la que permite obtener mayor cantidad de información, presentando en número más alto de niveles (valores de z). De igual forma, los gráficos 12 y 13 muestran las superficies elaboradas.

Figura 12

Concentración 500 $\mu g/m^3$, clave de estabilidad A, área rural y urbana

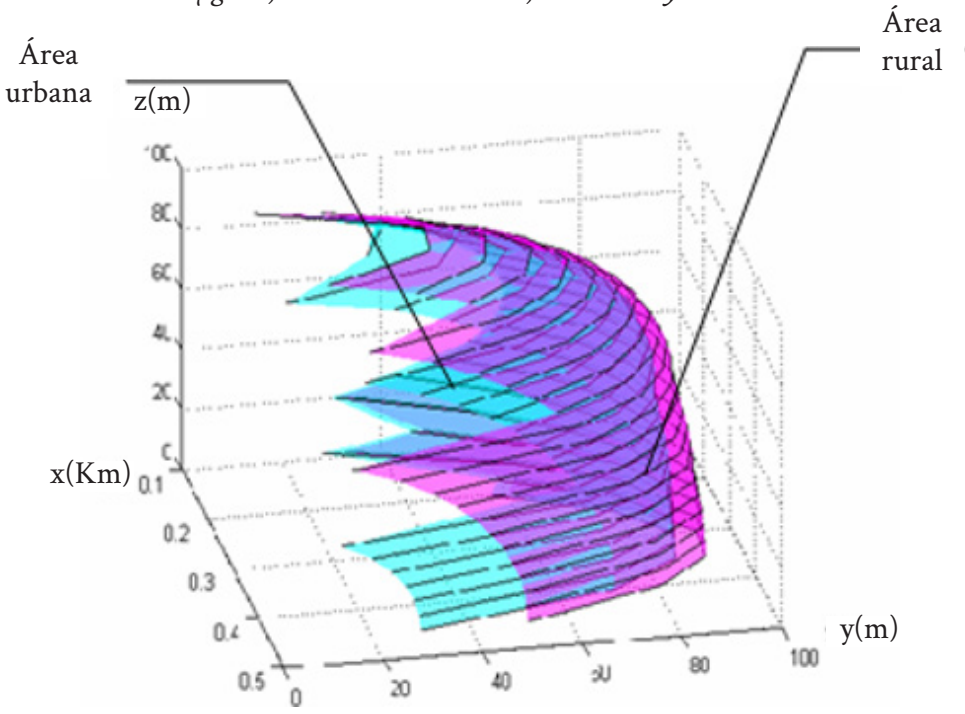
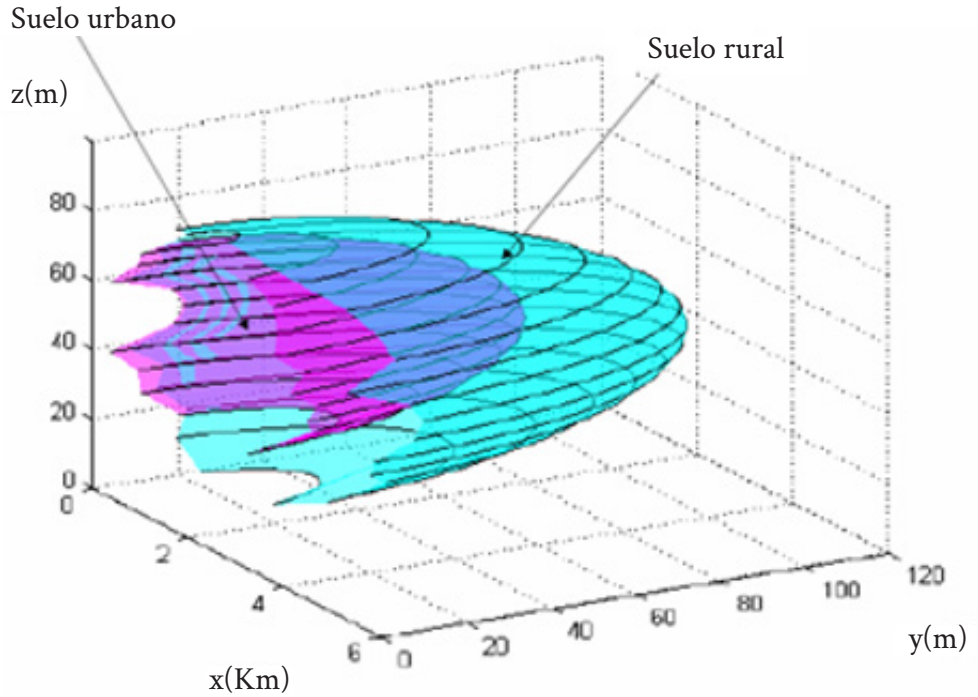


Figura 13

Concentración 500 µg/ m³, clave de estabilidad F, área rural y urbana



En la Figura 13, al modelar una condición estable, se evidencia claramente que la altura alcanzada por la superficie urbana es menor en comparación con la rural, lo cual se posiciona como la respuesta a la presencia de edificaciones urbanas con tres o cuatro pisos que son las que incrementan la rugosidad de la superficie, lo que altera el perfil del viento vertical y resulta en una menor dispersión de contaminantes. Se destaca por otro lado, en una topografía rural sin factores de fricción para el aire, se alcanzan alturas de z = 85 m y z = 75 m para suelos rurales y urbanos respectivamente.

Conjuntamente, la separación entre una y otra no es ajena al trabajo elaborado, toda vez que en la constante n disponible en la ecuación

$$U_2 = U_1 \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^n$$

para una superficie rural, configura la mitad respecto a la urbana (0.3 y 0.6, respectivamente).

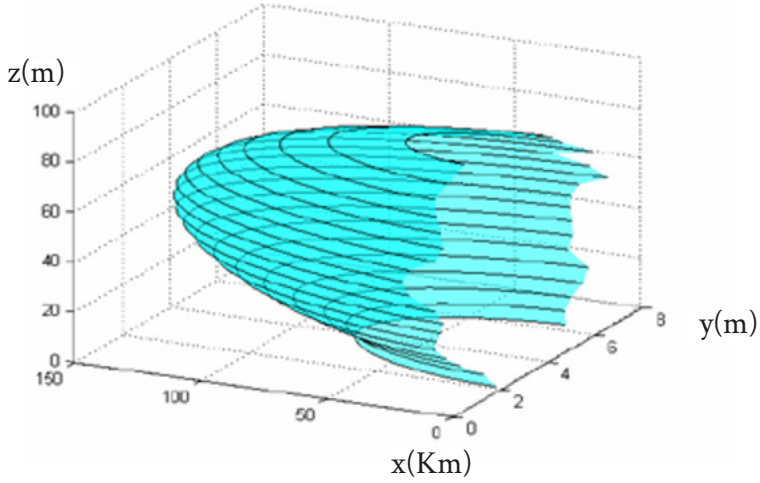
Al esbozar un estudio netamente comparativo frente una superficie urbana y otra de carácter rural se obtiene solamente una condición de inestabilidad A, lo cual se haya representado en la Figura 12, exhibiendo, por tanto, la clara disimilitud en la constante n que es implementada en la corrección de la velocidad, al no ser esta significativa entre un suelo rural (0.1) y uno urbano (0.15). Quiere decir que, los análisis cuantitativos corroboran que la altura de z = 100 m es alcanzada por ambas superficies, posicionándose con valores que no tienen tanta discrepancia entre uno y otro respecto a las coordenadas x e y.

En cuanto a la resolución de la gráfica, claramente se evidencia que para una concentración de 500 μg/m^3 en una condición inestable sin corrección de velocidad, la dispersión se da especialmente en altura, siendo esto un aspecto que impacta positivamente en la reducción del impacto en áreas cercanas a la fuente de emisión (plano ∠xy).

Al contrastar la magnitud de ambos elementos ante la concentración de 500 μg/m^3 con corrección de velocidad y cualidad estable (F) en la Figura 13, con la que ha sido producida sin corrección y que se visualiza en la Figura 14, se agudiza un derramamiento en el segundo caso, toda vez que aquí es donde se alcanza una altura de z = 90 m y que, por tanto, son mayores a las de z = 85 m para suelo rural y z = 75 m para suelo urbano, lo cual indudablemente destaca cuánto es el poder que engendra una corrección realizada de la forma que es debida, en donde la topografía del suelo es tomada en consideración para para obtener precisamente, una estimación sin errores en la dispersión de contaminantes.

Figura 14

Concentración 500 μg/ m^3, categoría de estabilidad F



Se requiere ahora, demostrar que la comparación previamente realizada, lo que persigue a través del despliegue en la misma de la elevación de la emisión, es que, lo antes señalado por las fórmulas matemáticas destinadas a la corrección según el modelo de dispersión gaussiano sean las aplicadas. Por esta razón, la Figura 14 trae consigo una superposición de ambas gráficas, para lo cual fue seleccionada una concentración de 500 $\mu g/m^3$ a una estabilidad atmosférica neutra, viéndose representado por la ecuación de Holland, así:

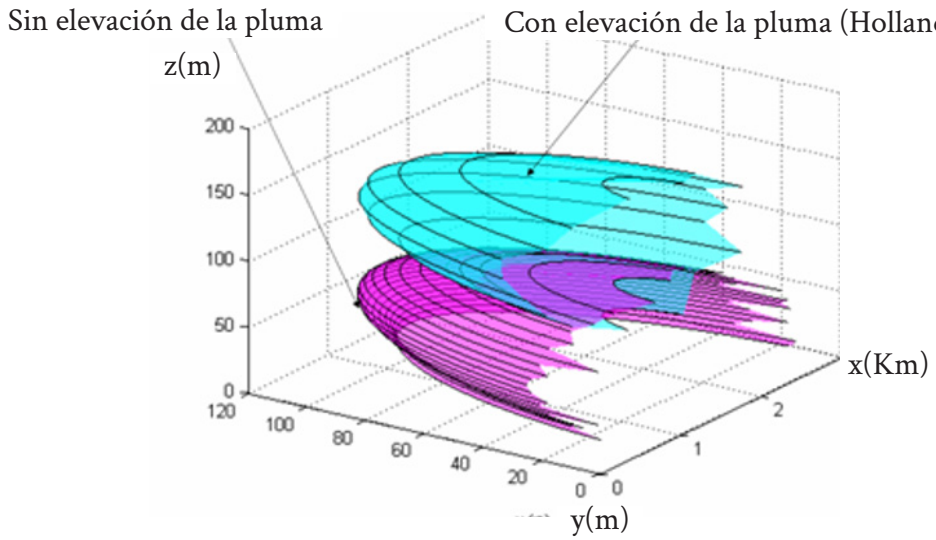
$$\Delta h = 1{,}5\,\frac{V_S d}{u} + 0{,}0096\,\frac{Q_h}{V_S d}$$

Entonces, esta fórmula amerita:

- Velocidad de salida de la dispersión: 20 m/s
- Estrecho de salida de la dispersión: 3 m
- Temperatura de salida al punto de monitoreo de emisión de los contaminantes: 293 $^oK \approx 20\ ^oC$
- Temperatura de aire atmosférico a la altura de la emisión: 273 $^oK \approx 0\ ^oC$
- Presión barométrica a la salida de la chimenea: 101.3 KPa.

Figura 15

Concentración 500 $\mu g/m^3$, categoría de estabilidad D con y sin elevación de dispersión

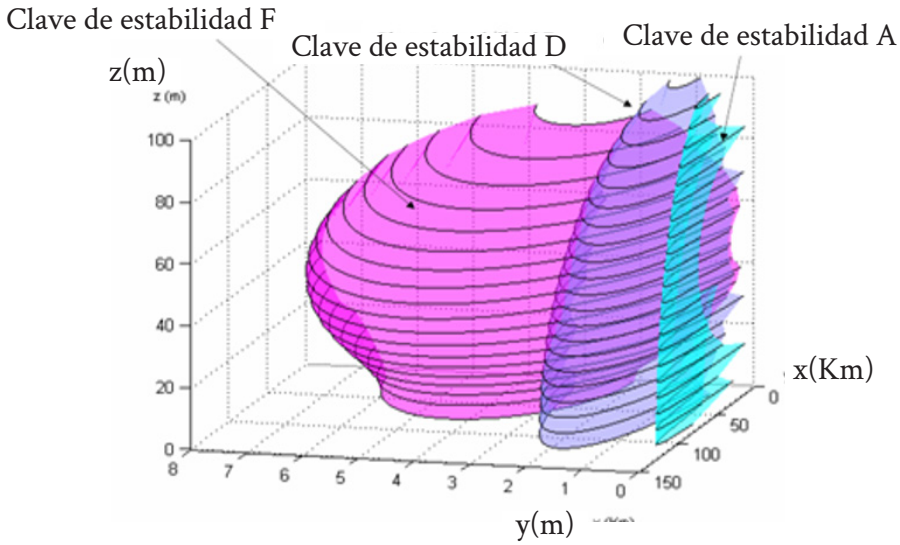


Era previsible que la fuente virtual de emisión experimentara un deslizamiento ante la altura adicional a la que fue elevada la expresión, por tanto, esto trajo como consecuencia, que la superficie tomase en un plano aéreo, un punto de emanación de 74,3526 m, registrándose, por ende, fluidos gaseosos de hasta 173,4926 m, quiere decir que, mediante la Figura 15 se presencia en emisión una altura que alcanza los 100 m, resultando de la misma, un coloque de ambas superficies a partir de 74,3526 m.

En fechas más reciente, fue elaborado un estudio vinculado a la superficie que se encuentra representada en la Figura 16, la cual exhibe una concentración que reúne las mismas condiciones atmosféricas, denominadas expresamente como: estable (F), neutra (K) e inestable (A); una que sitúa una dispersión deteriorada por las circunstancias que sumergen al espacio ambiental, generando una reducción que a su vez, ocasiona que el contaminante se riegue a través del plano horizontal alcanzando una altura de 90 m, en contraste con el segundo y tercer caso (A y D), donde se reconocieron datos a una altura de 100 m.

Figura 16

Concentración 500 µg/m³, claves de estabilidad A, D y F



No obstante ¿Es posible que la difusión de contaminantes sea favorecida u obtenga beneficios por la inestabilidad de las condiciones atmosféricas? Vale decir, que el esparcimiento en el plano horizontal al ser menor que en el caso de neutralidad o estabilidad meteorológica, corrobora en la Tabla 22, mediante los datos expuestos que sí, pues si se tratase de una condición A, la emisión alcan-

zaría en el eje x e y, 0,4984 km y 103,5169 m respectivamente; para la condición D, 2,9884 km y 118,50012 m; y para la F, 7,4206 km y 145,33869 m.

4.19. Resultados cualitativos

4.19.1. Cuestionario N.° 1

La pregunta del cuestionario N°.1 es: ¿Conoce usted lo que es un modelamiento matemático?

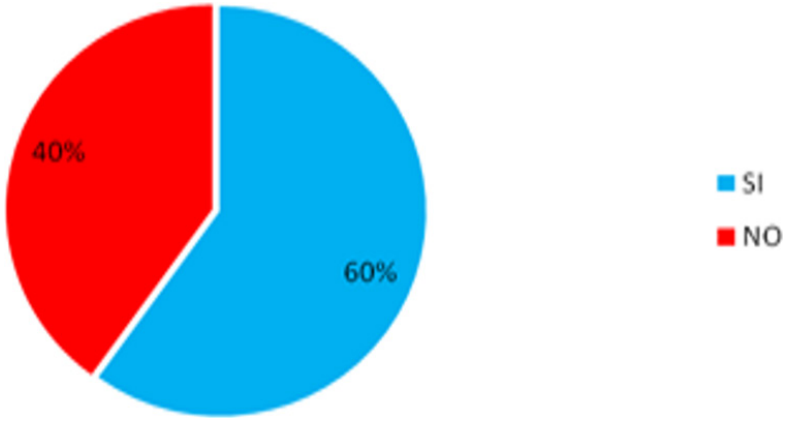
Tabla 12

Tabulación del cuestionario N.º 1

Alternativas		Fi	%
a	Sí	60	60.0 %
b	No	40	40.0 %
Total		**100**	**100.0 %**

Figura 17

Representación gráfica del cuestionario N.º 1



De una población de 100 personas encuestadas, el 60 % conoce lo que es un modelamiento matemático, mientras que el 40 % no conoce sobre el tema.

4.19.2. Cuestionario N.° 2

La pregunta del cuestionario N°.2 es: Después de haberle informado respecto de lo que es un modelamiento matemático, ¿considera que debería aplicarse en el

sector donde es practicada la actividad minera respecto al Cerro de Pasco para suponer la dispersión de los contaminantes atmosféricos?

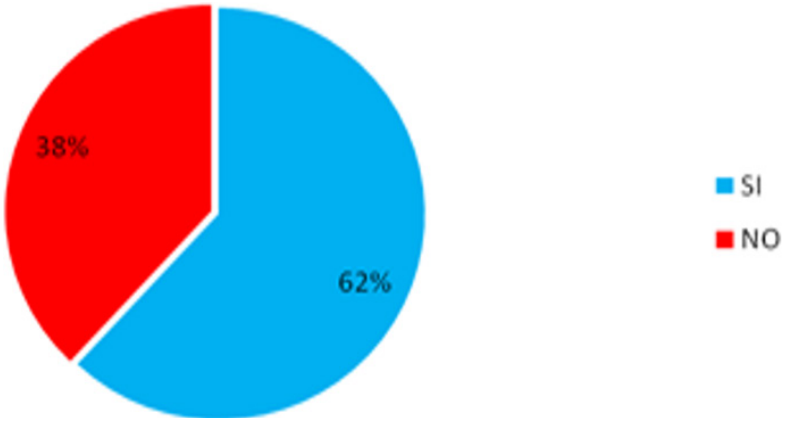
Tabla 13

Tabulación del cuestionario N.º 2

Alternativas		Fi	%
a	Sí	62	62.0 %
b	No	38	38.0 %
Total		**100**	**100.0 %**

Figura 18

Representación gráfica del cuestionario N.º 2



De una población de 100 personas encuestadas, el 62 % considera que el modelamiento matemático debe aplicarse en el área seleccionada, mientras que el 38 % piensa lo contrario.

4.19.3. Cuestionario N.° 3

La pregunta del cuestionario N°.3 es: ¿Usted cree que este tipo de modelamiento matemático debe usarse en todas las regiones o comunidades donde la contaminación atmosférica es notoria por la actividad minera y atenta contra el medioambiente?

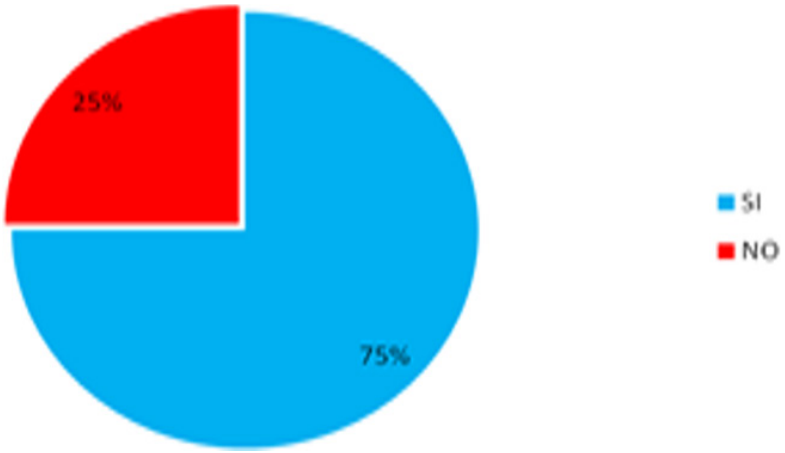
Tabla 14

Tabulación del cuestionario N.º 3

Alternativas		Fi	%
a	Sí	75	75.0 %
b	No	25	25.0 %
Total		100	100.0 %

Figura 19

Representación gráfica del cuestionario N.º 3



De una población de 100 personas encuestadas, el 75 % argumenta que este tipo de modelamiento matemático debe emplearse en todas las regiones o comunidades donde la contaminación atmosférica es notoria por la actividad minera y atenta contra el medioambiente; mientras que el 25 % piensa lo contrario.

4.19.4. Cuestionario N.° 4

La pregunta del cuestionario N°.4 es: Dada la importancia del modelamiento matemático para simular o realizar un pronóstico en materia de componentes que incrementan la contaminación en el sector minero, a su entender, ¿es también de gran aporte para el sector salud?

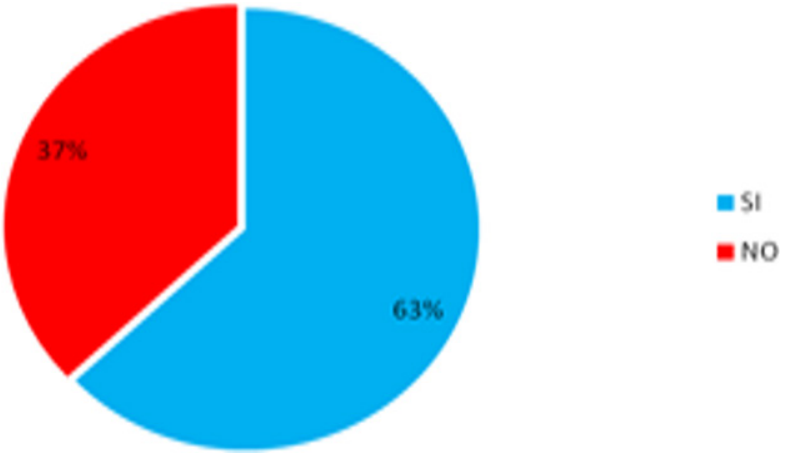
Tabla 15

Tabulación del cuestionario N.º 4

Alternativas		Fi	%
a	Sí	63	63.0 %
b	No	37	37.0 %
Total		100	100.0 %

Figura 20

Representación gráfica del cuestionario N.º 4



De una población de 100 personas encuestadas, el 63 % piensa que el modelamiento matemático para los cometidos atmosféricos antes mencionados respecto a los contaminantes es también de gran aporte para el sector salud, mientras que el 37 % piensa lo contrario.

4.20 Conclusiones

Las expresiones expuestas en desarrollo del análisis efectuado, lograron alcanzarse por el desenvolvimiento del *software* en el lenguaje Visual Basic 6.0, el cual permitió representar la información obtenida mediante una serie de gráficos que reflejan las superficies de isoconcentraciones, concluyendo en razón de las labores implementadas lo siguiente:

4.20.1. Conclusiones cuantitativas

En primer lugar, se concluye que, como resultado del análisis del sistema de información vinculado al grado de positividad del aire en la ciudad de Cerro de Pasco, se desarrolló un *software* de aplicación en el lenguaje Visual Basic V.6.0, que permite simular, a determinadas condiciones climatológicas, el esparcimiento de los componentes atmosféricos que contaminan la referida ciudad minera, empleando lo establecido por la calidad del bosquejo de dispersión gaussiano.

De la revisión y exploración de programación en Visual Basic V.6.0, incluida la información meteorológica propia de la ciudad, se obtiene un software de carácter estándar. Por lo tanto, el proyecto se encuentra a disposición tanto del sector industrial, como del sector público, entidades interesadas y, en especial, dentro de la institución académica conocida bajo la denominación de Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión de Cerro de Pasco, que por lo general no dispone de equipos de monitoreo para realizar pruebas experimentales; en tal sentido es importante el uso del presente simulador.

El lenguaje de programación Microsoft Visual Basic 6.0, que se encuentra integrado en la suite Microsoft Visual Studio 6.0, facilitó la creación correcta de un software con una interfaz realmente amigable y adecuada para los propósitos de investigación que eran perseguidos en el presente trabajo de estudio, motivo que se ve reflejado en el producto final, el cual resalta por su profesionalismo impecable y su facilidad de comprensión, incluyendo además, elementos significantes como son los cuadros de diálogo, lecciones de ayuda y menús emergentes para gestionar los efectos respectivos.

Adicionalmente, se precisa que el *software* ofrece funcionalidades extra promovidas por los simuladores gratuitos de la reconocida en el orbe internacional como *Environmental Protection Agency* (EPA) destacada por su capacidad nata para utilizar disímiles sistemas de unidades y remitir datos a Microsoft Excel o el portapapeles, según la necesidad del usuario, debido a que, su estabilidad permite su introducción directa mediante la tabla diseñada por el programa Simdica, generando consecuentemente, las matrices necesarias para representar isoconcentraciones en Matlab 6.0, destacándose entre otros simuladores de dispersión de contaminantes.

La presencia de Matlab 6.0 como herramienta computacional cumple funciones diversas que hacen el trabajo menos complejo, toda vez que, agiliza la toma de cálculos confusos e inclusive, pudiese decirse que, hasta obscuros en un tiempo minúsculo, siendo esencial para lo aquí buscado y practicado, pues se requiere -y valdría decir que es una urgencia- un número de operaciones extenso para forjar la tabla de concentraciones máximas por nivel. Por esta razón, el software caracteriza el "universo" con 45 intervalos distribuidos proporcionalmente en los tres ejes (x, y, z); realizando 2,000 cálculos por isoconcentración y 20,000 para las máximas por nivel.

Así, se precisa que la representación gráfica tridimensional del comportamiento de emisiones de fuentes caracterizadas por ser fijas o móviles, supone una valiosa herramienta para alcanzar la comprensión de dispersión de contaminantes, perfeccionando los datos numéricos que son necesarios para la obtención de un alto nivel de conocimiento para su interpretación. Además, es un instrumento que permite visualizar paralelamente el proceder de las concentraciones respectivas bajo disímiles condiciones meteorológicas y topografía mediante la superposición de varias superficies.

Entonces, las superficies analizadas en las líneas expresadas se manifestaron como el claro reflejo de coherencia frente a los manuales teóricos presentados en el apéndice B, de ahí que, si se determina que las misma hace presencia en entornos urbanos, se obtendría una difusión del contaminante reducida debido a la presencia de edificaciones que aumentan la rugosidad del suelo. Algo parecido ocurre al minimizar la dispersión frente a la estabilidad atmosférica creciente, en el entendido de que favorece el movimiento vertical del aire en condiciones inestables.

No obstante, si se analiza desde el lado negativo, es evidente la presencia de una dificultad al intentar continuar con el rastro de una concentración específica una vez se haya pretendido la resolución de la ecuación 2.8, en donde el cálculo de la concentración posee como fundamento el logaritmo natural para con ello, lograr evitar valores contradictorios que directamente podrían invalidar la generación de puntos identificativos. A pesar de ello, al incrementar la regularidad numérica, paralelamente se produje un aumento en la probabilidad de encontrarse con situaciones indeterminadas, pero, es precioso aclarar que, aun cuando inconveniente es inevitable, las superficies resultantes mantienen una resolución satisfactoria.

4.20.2. Conclusiones cualitativas

Ante una población de 100 personas encuestadas, el 60 % conoce lo que es un modelamiento matemático, mientras que el 40 % no conoce sobre el tema.

De una población de 100 personas encuestadas, el 62 % piensa que el modelamiento matemático debe usarse en la función vinculada a la minería del Cerro de Pasco, mientras que el 38 % piensa lo contrario.

De una población de 100 personas encuestadas, el 75 % piensa que este tipo de modelamiento matemático debe usarse en todas las regiones o comunidades, donde la contaminación atmosférica, como resultado de la actividad minera, atenta contra el medioambiente; mientras que el 25 % piensa lo contrario.

De una población de 100 personas encuestadas, el 63 % piensa que el modelamiento matemático para simular o realizar una predicción respecto a la propagación de las impurezas atmosféricas es también un gran aporte para el sector salud, mientras que el 37 % piensa lo contrario.

4.21. Recomendaciones

- El *software* que fue desarrollado en el proyecto expuesto tiene potencial para ser mejorado, con la finalidad de poder ser integrado en otras correlaciones referidas al cálculo de la altura de la dispersión; por ejemplo, la correlación de Briggs no considerada ni implementada en las presentes líneas investigativas, sin embargo, es utilizada frecuentemente por los simuladores de la *Environmental Protection Agency* (EPA).

- También es preciso considerar oportunidades que incluyen la especificación de la variación de la velocidad del suelo frente a la altura de la dispersión y la rugosidad de la superficie, así como el acercamiento de los valores σy y σz, manejando, por ejemplo, la ecuación 2.10.

- Otra problemática que suele producirse al tratar de optimizar las superficies es la referida a las irregularidades que son presentadas en forma de picos en sus bordes, lo cual encuentra justificación en los valores de x/y mostrados en cada nivel sin una tendencia definida, siendo esta siempre creciente o decreciente, según se exhiba en cada caso determinado, de ahí que se sugiera su

mejoramiento a través de una extrapolación no lineal para aproximar estos valores.

- Además, se recomienda el manejo de las tablas generadas por el simulador al analizar las gráficas, en el entendido de que, por ejemplo, el Matlab 6.0 prohíbe la visualización de las coordenadas de un punto específico, lo cual no sucede cuando se trata de Microsoft Excel, herramienta en la cual las ilustraciones exhibidas en su triple dimensión puede alterar indudablemente la lectura de los datos, lo que podría llevar a su vez, a una interpretar erróneamente un dato relacionado con el alcance de la dispersión del contaminante. Igualmente, se plantea una mejora propuesta a graficar directamente desde Visual Basic 6.0 en Matlab 6.0 sin necesidad de abrir este último.

- Se insta a continuar con el progreso de programas computacionales dentro de en el procedimiento de enseñanza-aprendizaje, para incrementar la constancia de su uso, promoviendo de manera directa la visualización de los datos generados por dichos programas en gráficas tridimensionales, fortaleciendo la parte práctica junto con la teórica

- Es de relevancia significativa -y generadora de un cambio- establecer sistemas locales de gestión de la calidad del aire con los cuales los particulares pudieren contar, con el objetivo de establecer niveles y normas regionales de calidad mediante de un Inventario de la Contaminación Atmosférica en la ciudad de Cerro de Pasco.

    - Zonas que incumplan

    - Círculos contiguos a la observancia del estándar

    - Lugares de contaminación reducida.

- Para concluir, resulta crucial implementar oportunidades de acceso a la investigación en zonas vinculadas a las innovaciones de tecnologías ecológicamente racionales, lo cual se alcanzaría de forma multidisciplinaria, porque incluiría la colaboración por parte de las instituciones académicas, del orbe empresarial y por supuesto, del sector social, lo cual permitiría establecer una orientación que incremente cambios continuos en los enfoques técnicos y normativos para la vigilancia e inspección de la contaminación del aire en la ciudad de Cerro de Pasco.

CAPÍTULO V

REFLEXIONES EN TORNO A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL SECTOR MINERO

A través de los años, el crecimiento de la economía de cada país hace referencia a un aumento en los ingresos, valor de bienes o servicios producidos por diferentes fuentes, tales como los recursos humanos, capital formado, tecnología, innovación y explotación de recursos naturales. En ese sentido, los principales sectores que contribuyen con la economía de cualquier país son la pesca, minería, comercio, construcción, agropecuario; entre otros; de ahí que la actividad minera tiene un rol fundamental en el crecimiento económico, por lo que es uno de los sectores que obtiene mayor atención de los gobiernos.

De esta manera, se resalta la importancia del sector minero sobre la economía y desarrollo de toda nación; sin embargo, es importante considerar que este sector también es uno de los más afectados por la informalidad en la que se desenvuelven algunos grupos, dado que la explotación de recursos no se da cumpliendo con los estándares que cada gobierno propone, creando así una problemática frente a las autoridades, lo que a su vez implica que el sector minero sea una de las personificaciones sobre las cuales recae la responsabilidad ante su contribución constante al deterioro ambiental.

De este modo, Cadenillas y Salazar (2018) argumentan que existen muchos componentes que atentan contra la armonía de los elementos que constituyen

un ecosistema, tales como el agua, subsuelo, aire, flora, fauna, entre otros, haciendo que estos puedan ser destruidos de manera parcial o total. Asimismo, exponen que el mayor impacto recae es sobre el sector minero y todo lo que su actividad -un poco destructiva- conlleva, haciendo énfasis en aquella minería que no cumple con ninguno de los parámetros establecidos, por poseer un carácter informal e inclusive, hasta ilegal.

En relación con el párrafo precedente, puede decirse que se trata de una forma de extracción con mayores niveles de contaminación ambiental, sin dejar de lado que la extracción que se realiza a un nivel formal también tiene un impacto a menor escala sobre el medioambiente, contribuyendo de igual forma con esta problemática, aun cuando cumple con los parámetros ambientales que las autoridades plantean.

Así, la repercusión de más grande escala en el orbe socio-natural es encabezada por los elementos contaminantes, dado que, impacta negativamente en el ecosistema y la calidad de vida den los seres que pertenecen a él. Cabe mencionar que la minería es una de las actividades que afecta en grandes proporciones el medioambiente, ya que la extracción de minerales según el método utilizado genera residuos contaminantes depositados a través del agua, aire, entre otros, el bienestar de cualquier ser vivo.

Ahora, en referencia al deterioro atmosférico, se plantea que esta se da por la dispersión de agentes minerales contaminantes residuales, como el plomo, níquel, monóxido de carbono u otros, todos ellos distribuidos por el aire a través de diferentes maneras, ya sea por en la naturaleza, mediante corrientes de aire, humedad, etc., durante el proceso de extracción o directamente por la industria, al ser expulsados mientras se realiza el proceso de conversión de dichos minerales.

De esta forma, La Rotta, y Torres (2017) sostienen que las consecuencias que tiene la actividad debido a la falta de regulación y control estatal, ponen en evidencia complejos conflictos socioambientales, repercutiendo en la población, incrementando la preocupación ante la directa afección de las condiciones básicas y humanas del hombre, ocasionando un desequilibrio en el tejido social, desnaturalizando las poblaciones o localidades cercanas a la práctica de tal actividad lesiva para los seres vivos. (p. 78)

Bajo dicho argumento, se evidencia que la actividad minera afecta en todo sentido a la población cercana a los proyectos, respecto a su salud, cultura y territorio, al ser una actividad que implica explotación geográfica, destacando que dicha actividad afecta a su vez, al estado físico y mental de los trabajadores, los cuales se encuentran en contacto directo a diferentes químicos para llevar a cabo la labor de extracción, y en mayor medida cuando se da de forma ilegal o informal.

Por lo tanto, se concluye que es fundamental que tanto las empresas mineras, la población y los gobiernos locales o regionales desarrollen un trabajo en conjunto para plantear políticas ambientales y laborales, de manera que se reduzca lo mayor posible los índices de contaminación ambiental; asimismo, es importante contribuir y reducir los niveles de informalidad laboral y, con ello, evitar una exposición innecesaria de sus pobladores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrego, D., Sánchez, Y. y Medina J. (2017). Influencia de los sistemas de información en los resultados organizacionales. *Revista Contaduría y Administración, 62*(2), 303-320. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186104216300432

Afan, K. (2018). *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito de Hualgayoc, Cajamarca-octubre 2017* [tesis de licenciatura, Universidad Norbert Wiener]. http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/1854

Amable. I., Méndez, J., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L. y Zamora, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica, 39*(5), 1160-1170. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017

Cadenillas, L. y Salazar, C. (2018). *Factores que influyen para no formalizar y continuar la investigación preparatoria en los delitos de contaminación ambiental por minería informal e ilegal en Cajamarca* [tesis de licenciatura, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/826

Castillo, G. y Pérez, E. (2017). Diagnóstico de los sistemas de información en las empresas priorizadas según los requerimientos actuales. *Revista Palabra Clave (La Plata), 6*(2), 1-11. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=350550884007

Charro, J. (2018). *Calibración y verificación de equipos analíticos* [tesis de licenciatura, Universidad de Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/32066

Chuquilin, S. y Vásquez, H. (2018). *Implementación de un sistema informático para la gestión de atenciones a los pacientes del puesto de salud Agocucho del distrito de Cajamarca, 2016* [tesis de licenciatura, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/663

Cortez, E. (2019). *Determinación de partículas sólidas totales (PST) mediante el método gravimétrico en la atmósfera de la carretera del tramo Celendín-José Gálvez* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3469

De Pablos, C., López, J., Romo, S. y Medina, S. (2019). *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. ESIC Editorial.

Depaz, A. (2017). *Modelamiento de dispersión de material particulado mediante la aplicación del modelo gaussiano para determinar la zona vulnerable del sector industrial de Puente Piedra 2017* [tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/17417

Díaz, V. y Fernández, M. (2018). *Fundamentos básicos para promover de manera sostenible la erradicación de la minería ilegal y formalización de la minería informal desde la teoría de Ronald Coase* [tesis de licenciatura, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1515

Espinosa, K., Hernández, A. y Mantilla, E. (2016). La participación de la minería y sus beneficios económicos en Colombia y Perú. *Revista In Vestigium Ire, 10*(1), 208-228. http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/view/1188

Ferrer, Y. (2016). Seguimiento en el tiempo de la evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros. *Revista Luna Azul, 42*, 256-269. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321744162013

Gómez, S. y Moraleda, E. (2020). *Aproximación a la Ingeniería del Software*. Editorial Universitaria Ramón Areces.

Guzmán, C. (2018). *Análisis de los tipos de sistemas de información como apoyo a la administración gerencial* [trabajo de titulación para licenciatura, Universidad Estatal de Milagro]. http://201.159.222.36/handle/123456789/4373

Hamilton, C. (2019). *Minería informal y su relación con el medio ambiente como factor que incide en su regularización jurídica en la región Lima provincia - años 2017 al 2018* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3645

Hernández, A. (2016). *Sistema de evaluación de la dispersión episódica de contaminantes atmosféricos* [tesis de doctorado, Universidad de Santiago de Compostela]. https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/14858

Hernández, D., Pérez, D., León, E., Infante, M. y Blanco, J. (2016). Propuesta de proceso de planificación de sistemas de información para la industria biofarmacéutica cubana. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud, 27*(2), 185-205. https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=64588

Herrera, G. y Rivera, N. (2018). *Evaluación del impacto de las emisiones contaminantes de carbonos del municipio de La Esperanza mediante la aplicación de bioaditivo Nanomac* [monografía de especialización, Universidad Industrial de Santander]. http://noesis.uis.edu.co/handle/123456789/37267

Inga, F. (2017). *Niveles de dióxido de azufre (SO2) en el aire de la ciudad de Tingo María comparando dos métodos modificados.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1370

La Rotta, A. y Torres, M. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Revista Saúde em Debate, 41*(112), 77-91. https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042017000100077

López, M., Santos, J., Quezada, C., Segura, M., y Pérez, J. (2016). Actividad minera y su impacto en la salud humana. *Revista Ciencia UNEMI, 9*(17), 92-100. http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/3134

Lozano, W. (2018). *Clima, hidrología y meteorología para ciencias ambientales e ingeniería*. Editorial Universidad Piloto de Colombia.

Martin, D. (1976). Comentario sobre "El cambio de las desviaciones estándar de concentración con la distancia". *Revista de la Asociación de Control de la Contaminación del Aire, 26*(2), 145-147. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00022470.1976.10470238

Matute, M. (2018). *Evaluación de las herramientas de minería de datos en variables de contaminación atmosférica* [tesis de licenciatura, Universidad del Azuay]. http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8203

McMullen, R. (1975). El cambio de las desviaciones estándar de concentración con la distancia. *Revista de la Asociación de Control de la Contaminación del Aire, 25*(10), 1057-1058. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00022470.1975.10470179

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Guía de calidad del aire y Educación Ambiental*. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf

Perugachi, N. (2016). *Aplicación de un modelo matemático para determinar la difusión de contaminantes atmosféricos bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobaba* [proyecto para maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4603

Rodriguez, J. (2018). *Desarrollo e implementación web del formulario mensual de establecimientos de hospedaje en la Dircetur-Puno - 2017* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9734

Rojano, R., Mendoza, Y., Arregoces, H. y Restrepo, G. (2016). Dispersión de contaminantes del aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una estación modular de compresión, tratamiento y medición de gas natural. *Revista Información Tecnológica, 27*(5), 99-110. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000500012&script=sci_arttext&tlng=n

Rovira, M. (2019). *Determinación de aceites minerales en aceite de oliva mediante extracción en fase sólida en combinación con cromatografía de gases-detector de ionización de la llama* [tesis de licenciatura, Universidad de Almería]. http://repositorio.ual.es/handle/10835/7865

Soler, A. (2018). *Reducción de contaminantes en la descomposición térmica de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos* [tesis de doctorado, Universidad de Alicante]. http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/87527

Trelles, R. (2018). *Determinación del material particulado (PM^{10} y $PM^{2.5}$), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO) en el distrito de Ocoruro-provincia Espinar-región Cusco* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Agustín]. http://bibliotecas.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6733

Turner, B. (1994). *Workbook of atmospheric dispersion: an introduction to dispersion modeling*. Lewis Publishers.

Ubilla, C. y Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica: efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes, 28*(1), 111-118. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300214

Vásconez, M., y Torres, L. (2018). Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud. *Revista Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, 6*(2), 83-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2308-01322018000200006&script=sci_arttext&tlng=pt

Vidal, I., López, R., Cuesta, A., Bolufé, J., y García, E. (2018). Condiciones meteorológicas que influyen en las inmisiones de contaminantes atmosféricos en dos localidades de La Habana. *Revista Cubana de Meteorología, 24*(2), 146-158. http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/421

Apéndice A: ámbito geográfico del campo muestral

El presente estudio se realizó en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar (Centro Poblado Menor de Paragsha), ubicados en el ámbito de la cuenca atmosférica de la ciudad y departamento de Pasco. Se localizan en las estribaciones occidentales de la cordillera Central, de la sierra central del Perú, a una altitud de 4,380 m s. n. m.

El espacio geográfico de la cuenca atmosférica, según Senamhi, comprende 1,837 hectáreas y 1,710 mL de perímetro; la cuenca limita al norte con los distritos de Ticlacayán y Ninacaca, al oeste con los distritos de Simón Bolívar y Santa Ana de Tusi, al sur con los distritos de Vicco y Tinyahuarco. El territorio de esta cuenca ocupa un promedio de 4,200 a 4,338 m s. n. m. Los vientos predominantes son de dirección de NE a SW, y la velocidad promedio de los vientos es de 4 a 5 km/h y una velocidad media anual de 2 m/s.

La topografía es de suave relieve, rodeada de colinas, distinguiéndose pequeñas áreas de depresión donde se han establecido asentamientos poblacionales. Las laderas de las colinas presentan pendientes moderadas. En esta zona se originan las quebradas que van a desembocar al río Huallaga por el lado oriental y a la quebrada que se orienta hacia la cuenca del río San Juan por el lado occidental.

El clima se caracteriza por tener épocas lluviosas durante enero, febrero y marzo. Predominan las lluvias, aunque también hay épocas secas en el año. La temperatura ambiental varía de 0 °C en invierno a 13 °C en verano. La humedad

relativa varía entre 53 % a 100 %. Las precipitaciones pluviales varían entre 32 mm y 235 mm, según la variación del tiempo y velocidad de viento.

Figura 21

División política de la Ciudad de Cerro de Pasco por distritos



Tabla 16

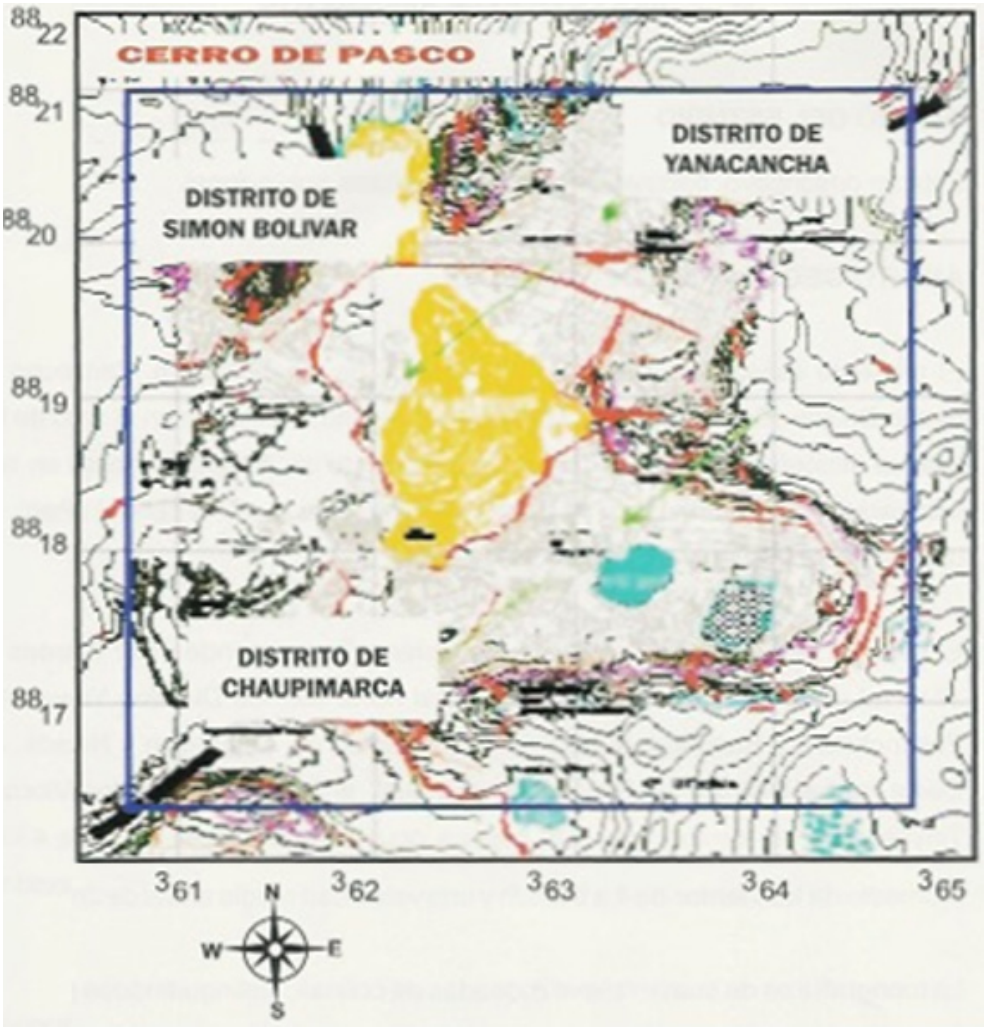
Características demográficas de los distritos de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco

Departamento/ distrito	Población total	Superficie (km^2)	Densidad poblacional (hab/km^2)	Altitud (m s. n. m.)	Latitud Sur	Longitud
Pasco	290,275	25,319.59	10.2	4,338	10º35'25"	75º23'55"
Yanacancha	28,178	165.11	186.1	4,297	10º90'03"	75º15'06"
Chaupimarca	31,238	6.66	4,602.9	4,338	10º40'40"	75º15'22"
Simón Bolívar	17,221	639.49	26.3	4,200	10º41'13"	75º18'47"

Entre las fuentes fijas de mayor importancia, se tiene la industria minera polimetálica con explotación a cielo abierto, ubicada en la zona céntrica de la ciudad, correspondiente a los distritos de Simón Bolívar, Chaupimarca, Yanacancha, las mismas que emiten partículas al ambiente producto de la explotación minera. Entre las otras fuentes están los móviles, debido a que el parque automotor ha crecido rápidamente como resultado de la migración rural a la zona urbana. Este crecimiento se da principalmente a lo largo de las avenidas principales, con la generación de pueblos jóvenes (zonas urbano-marginales) en el área.

Figura 22

Delimitación de la cuenca atmosférica en la ciudad de Cerro de Pasco



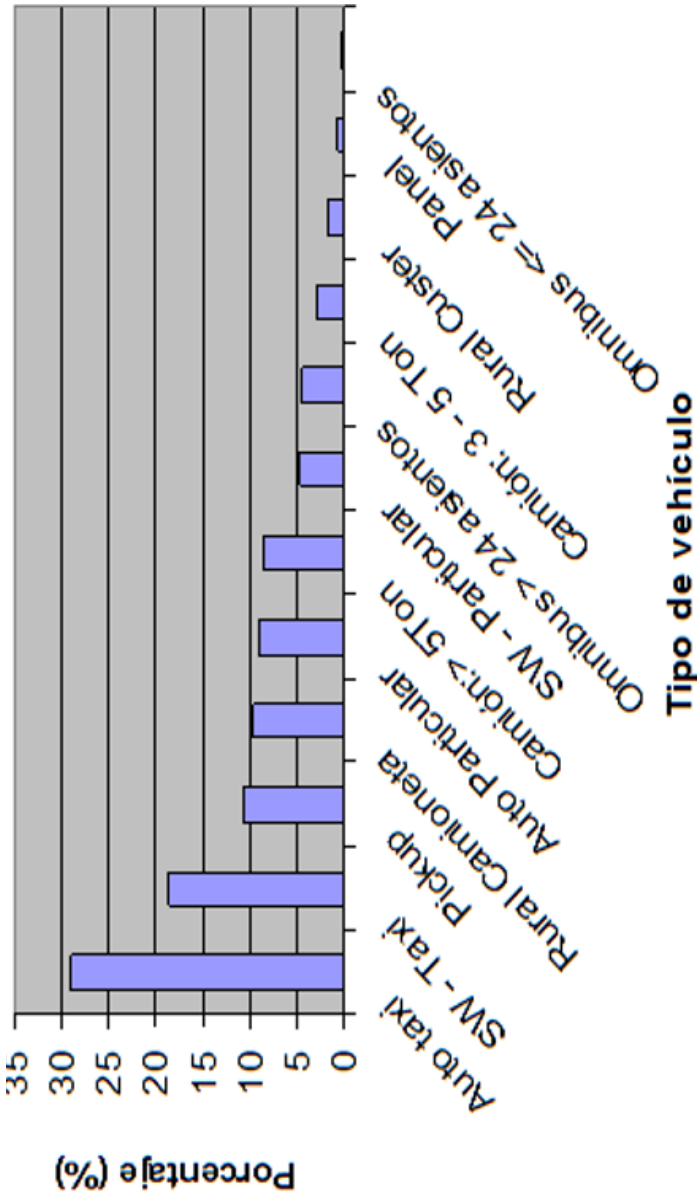


Figura 23
Delimitación de la cuenca atmosférica en la ciudad de Cerro de Pasco

Tabla 17

Delimitación de estratos de exposición según fuentes contaminantes del aire en la ciudad de Cerro de Pasco

	Estratos		
	I (Alta exposición)	**II (Mediana exposición)**	**III (Baja exposición)**
Población ubicados cerca de:			
Industrias	Grandes industrias (< = a 500 m),	Medianas industrias (> = a 500 m a 2 km)	Pequeña actividad comercial (ubicada a > de 2 km), zona residencial
Tránsito vehicular	Vías con mayor tránsito vehicular (vías de carretera, av. principales, doble carril con afluentes en avenidas principales y con flujo > = vehículos por minuto)	Vías con moderado tránsito vehicular (calles y jirones con flujo mayor de 10 - 29 vehículos por minuto)	Vías con escaso tránsito vehicular (flujo menor de 10 vehículos por minuto),
Vías de asfalto	Zonas áridas (lugares sin vías de asfalto), y	Zonas con algunas vías de asfalto, y	Vías con presencia de asfalto, y
Áreas verdes	Sin áreas verdes	Sin áreas verdes	Con presencia de áreas verdes

Figura 24

Mapa de ubicación por estratos de exposición y fuentes fijas en la ciudad de Cerro de Pasco

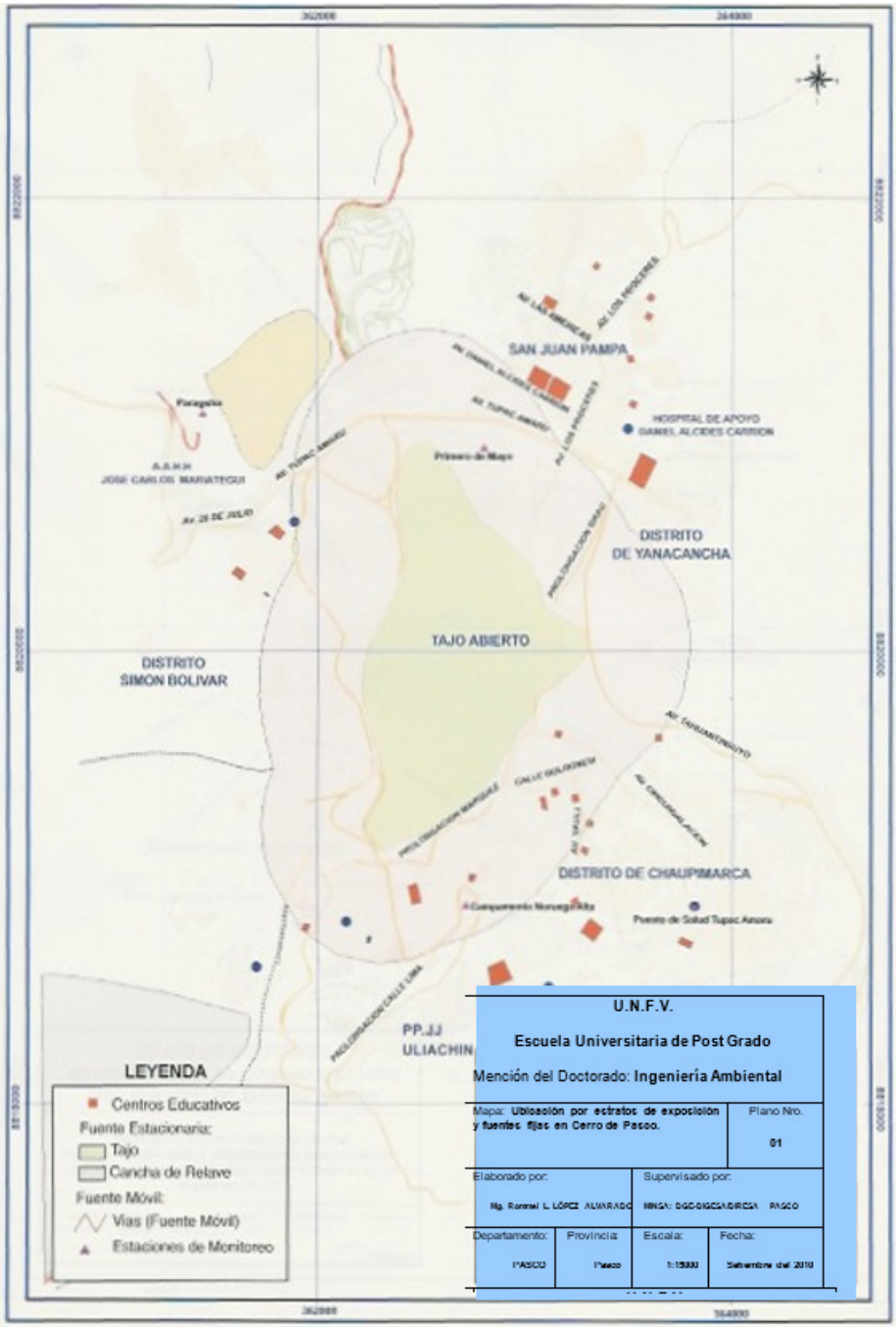


Figura 25

Ubicación por estratos de exposición y fuentes móviles en la ciudad de Cerro de Pasco

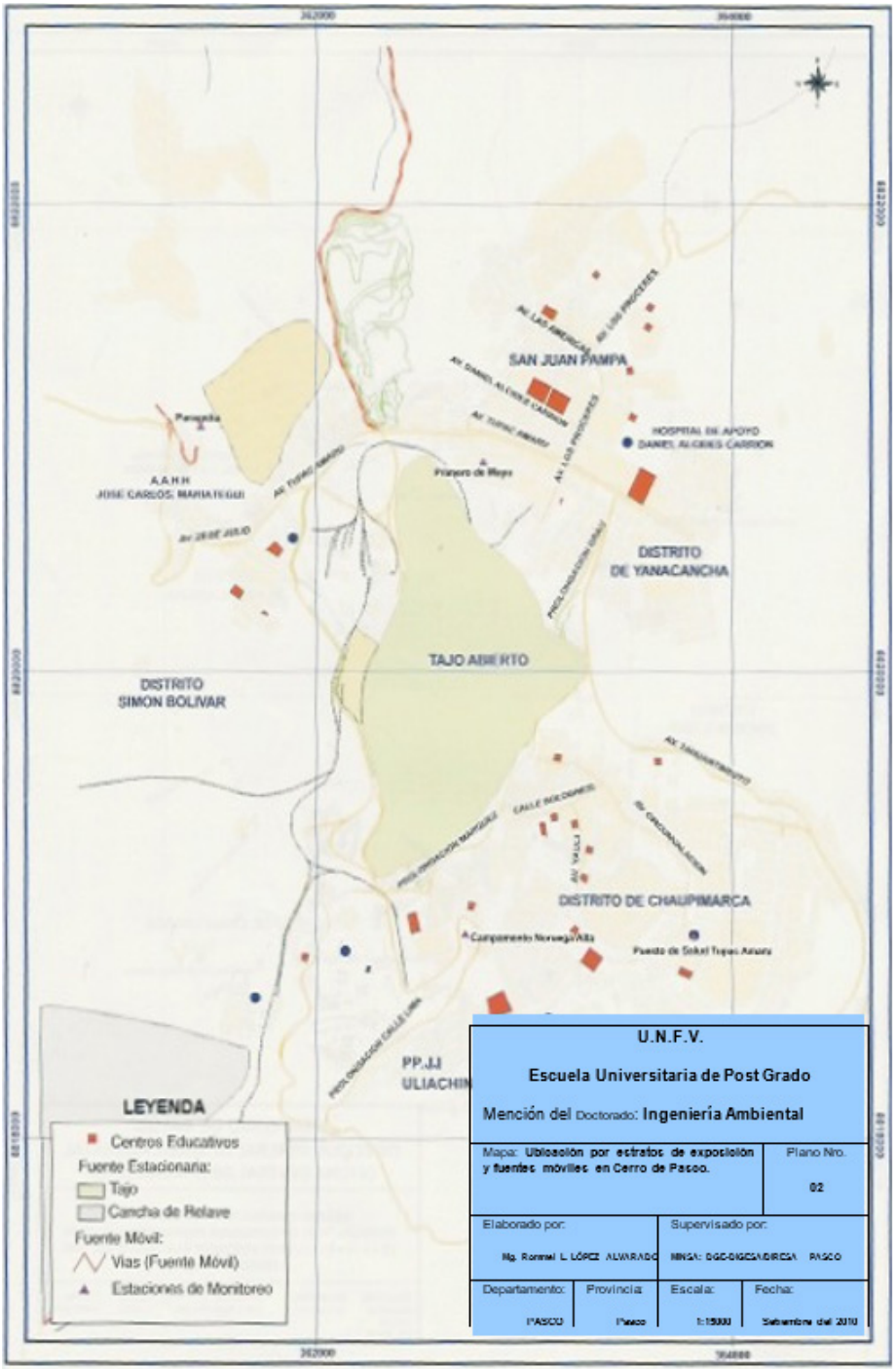


Figura 26

Mapa de ubicación por estratos de exposición generalizada en la ciudad de Cerro de Pasco.

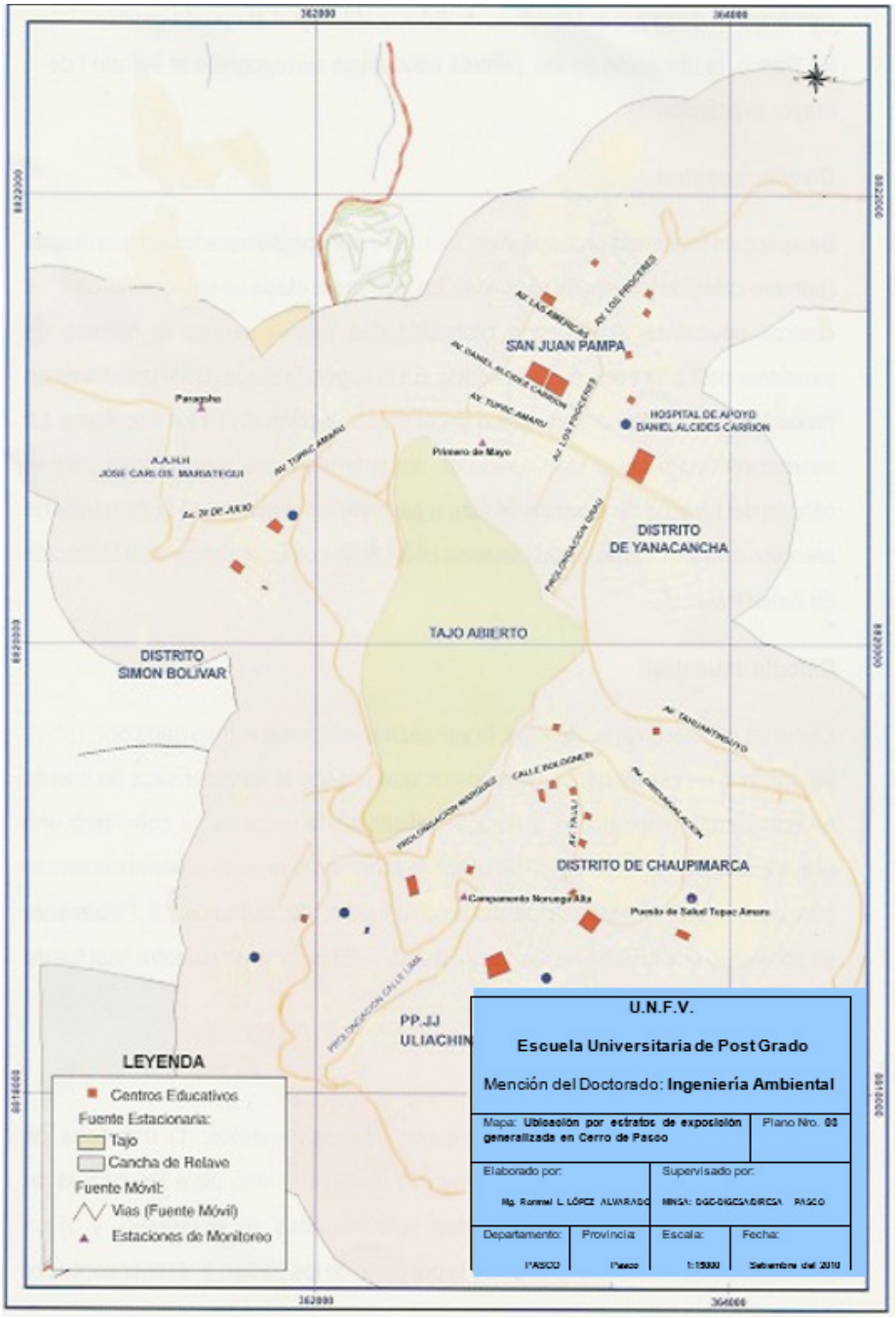


Tabla 18

Datos meteorológicos de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco, 2010

Meses	Velocidad de viento		Precipitación	Evaporación	Humedad relativa			Temperatura		
	m/ seg	Máxima m/seg	mm	Mm	Máx. %	Mín. %	Prom. %	Máx. °C	Mín. °C	Prom. °C
Ene	1.7	4.5	101.0	93.4	95.8	18.1	74.0	14.4	-1.9	5.5
Feb	1.7	4.3	117.0	185.3	95.7	30.5	77.3	15.3	-0.3	5.9
Mar	1.5	7.6	163.0	198.1	96.2	37.4	80.0	12.8	-0.4	5.5
Abr	1.4	3.9	103.0	190.6	96.5	20.1	77.0	14.1	-4.1	5.4
May	1.6	4.1	12.0	109.9	95.9	11.4	67.8	14.7	-9.1	4.5
Jun	1.4	4.0	37.0	66.4	96.2	15.8	75.2	13.9	-7.1	4.1
Jul	1.8	4.7	3.0	14.3	95.4	7.2	62.8	13.4	-12.3	2.7
Ago	1.7	4.5	11.0	46.7	95.8	19.9	71.2	15.3	-7.9	4.3
Set	1.6	4.4	84.0	121.8	96.3	15.8	73.5	14.2	-5.2	4.4
Oct	1.6	4.2	183.0	160.3	96.3	9.7	73.3	16.3	-3.9	5.4
Nov	1.4	4.0	131.0	193.4	96.0	29.4	78.0	14.3	-2.5	5.2
Dic	0.8	2.7	140.0	190.4	96.2	25.4	78.3	14.3	-1.1	5.7

Figura 27
Velocidades de viento normales y máximas de la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco correspondientes al año 2010

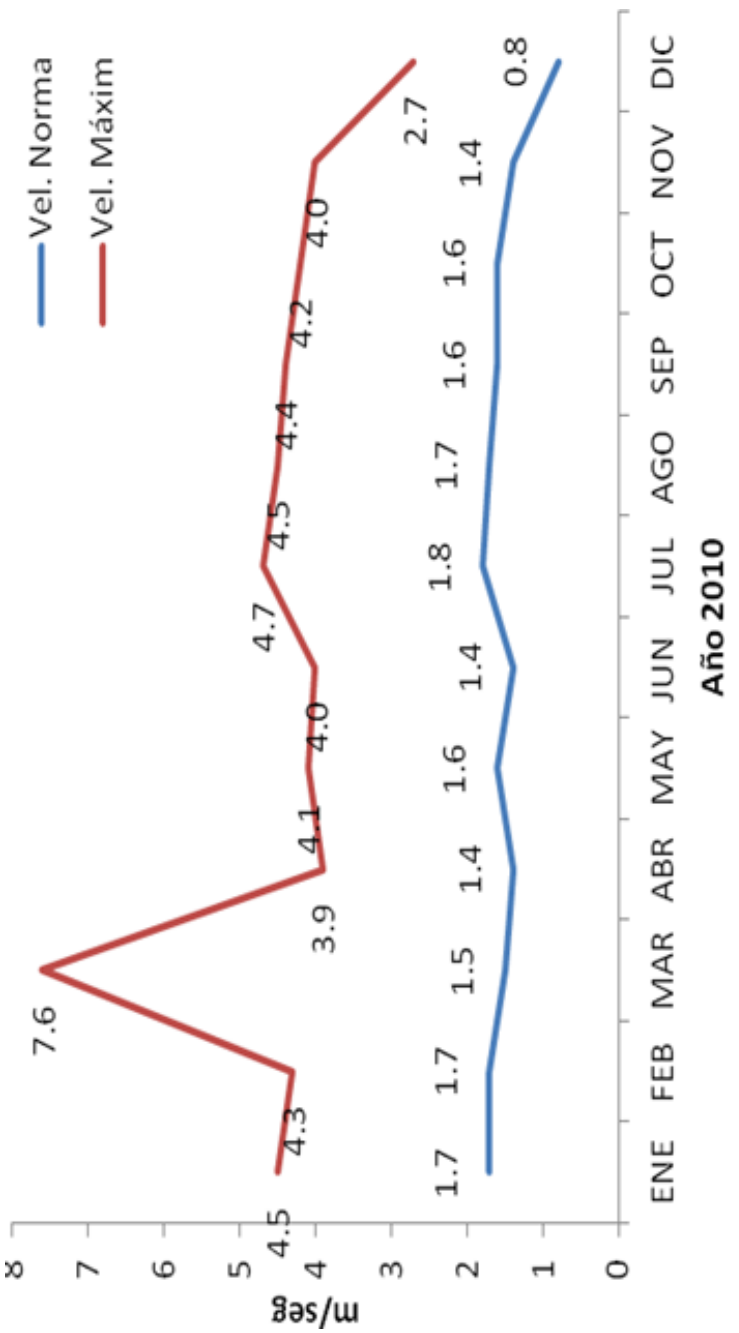


Figura 28

Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre enero, febrero y marzo del 2010

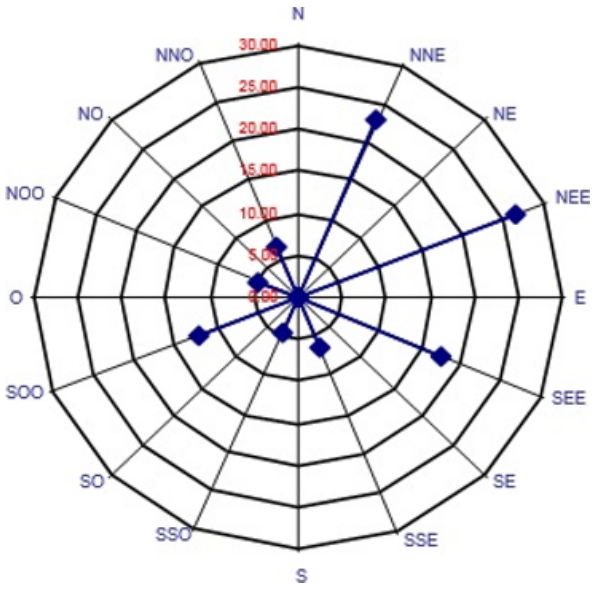


Figura 29

Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre abril, mayo y junio del 2010

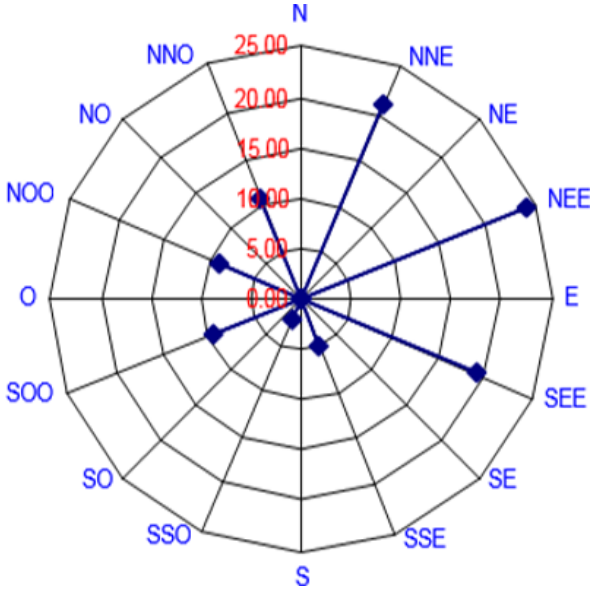


Figura 30

Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre julio, agosto y setiembre del 2010

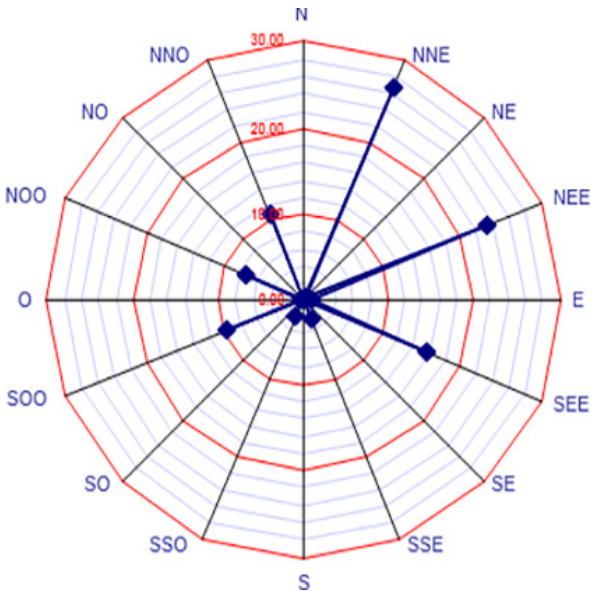


Figura 31

Dirección de vientos en la cuenca atmosférica de la ciudad de Cerro de Pasco comprendidos entre octubre, noviembre y diciembre del 2010

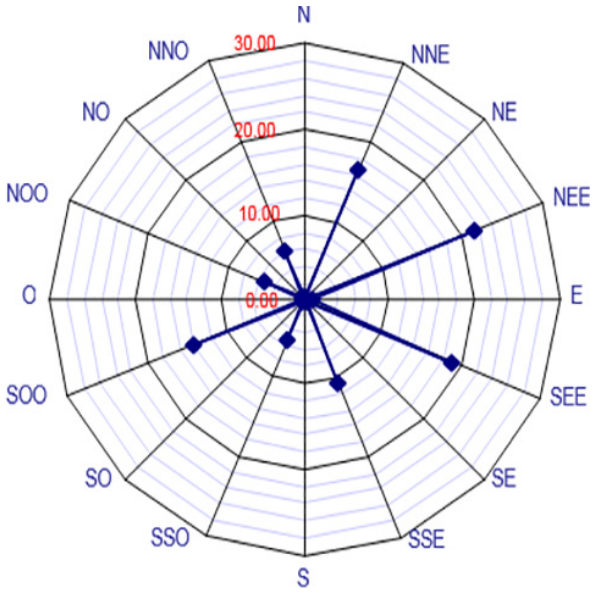


Figura 32

Indicio de contaminación atmosférica en distrito de Simón Bolívar



Nota: Vista del indicio de contaminación atmosférica en el sector del distrito de Simón Bolívar, centro poblado de Paragsha. Fuente: Personal (10-04-10)

Figura 33

Indicio de contaminación atmosférica en distrito de Yanacancha



Nota: Vista del indicio de contaminación atmosférica en el sector del distrito de Yanacancha, centro poblado de Paragsha. Fuente: Personal del 10-04-10

Apéndice C: tablas de isoconcentración

Las tablas originales que contienen los datos generados con el simulador desarrollado en el presente trabajo son extensas, por lo que se resumieron considerando para cada nivel (valor de z) el primer y último valor correspondiente a un punto en el sistema de coordenadas (x, y, z), así como los valores máximos.

Para la isoconcentración de 500 μg/m^3 se obtuvieron en total 943 puntos; para 1,000 μg/m^3, 402, y para las de 2,500 μg/m^3, 120. Las siguientes tablas muestran los compendios para cada concentración analizada:

Tabla 19

Concentración 500 μg/m^3, clave de estabilidad A

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (μg/m^3)
0.1996	66.5870	0	500
0.3490	103.5170	0	500
0.4984	31.9443	0	500
0.1498	18.9467	5	500
0.4984	31.6623	5	500
0.1498	37.2633	10	500
0.4984	30.8009	10	500
0.1000	6.7732	15	500
0.4984	29.3089	15	500
0.1000	34.8800	20	500
0.4984	27.0822	20	500
0.1000	46.9885	25	500
0.4984	23.9160	25	500
0.1000	54.9458	30	500
0.4984	19.3543	30	500
0.1000	60.4146	35	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.4984	11.8855	35	500
0.1000	64.0355	40	500
0.4486	69.7732	40	500
0.1000	66.1130	45	500
0.4486	67.3221	45	500
0.1000	66.7911	50	500
0.4486	64.4695	50	500
0.1000	66.1130	55	500
0.4486	61.1582	55	500
0.1000	64.0355	60	500
0.4486	57.3075	60	500
0.1000	60.4146	65	500
0.4486	52.7982	65	500
0.1000	54.9458	70	500
0.4486	47.4411	70	500
0.1000	46.9884	75	500
0.4486	40.9026	75	500
0.1000	34.8787	80	500
0.4486	32.4738	80	500
0.1000	6.7002	85	500
0.4486	19.8764	85	500
0.1498	33.5975	90	500
0.3988	50.6697	90	500
0.1996	48.8524	95	500
0.3988	42.0295	95	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.1886	30.1281	100	500
0.3988	30.2829	100	500

Tabla 20

Concentración 500 $\mu g/m^3$, área rural, clave de estabilidad A

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.1996	60.1255885	0	500
0.2992	92.6648790	0	500
0.4486	51.4496985	0	500
0.1996	61.4149466	5	500
0.4486	51.2580589	5	500
0.1498	29.9743632	10	500
0.4486	50.6787225	10	500
0.1498	45.8198656	15	500
0.4486	49.6979202	15	500
0.1	31.2837698	20	500
0.4486	48.2908330	20	500
0.1	44.3844319	25	500
0.4486	46.4181840	25	500
0.1	52.7361507	30	500
0.4486	44.0198873	30	500
0.1	58.4121595	35	500
0.4486	41.0028862	35	500
0.1	62.1498871	40	500
0.4486	37.2158238	40	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.1	64.2882986	45	500
0.4486	32.3881399	45	500
0.1	64.9854673	50	500
0.4486	25.9431156	50	500
0.1	64.2882986	55	500
0.4486	16.0328781	55	500
0.1	62.1498870	60	500
0.3988	59.7303321	60	500
0.1	58.4121591	65	500
0.3988	55.1774504	65	500
0.1	52.7361445	70	500
0.3988	49.7655615	70	500
0.1	44.3843475	75	500
0.3988	43.1659935	75	500
0.1	31.2823977	80	500
0.3988	34.6990008	80	500
0.1498	44.9399257	85	500
0.3988	22.3191839	85	500
0.1498	25.2724493	90	500
0.349	44.8670796	90	500
0.1996	39.5955651	95	500
0.349	34.2914331	95	500
0.1996	9.43151660	100	500
0.349	16.6422053	100	500

Tabla 21

Concentración 500 µg/m³, área urbana, clave de estabilidad A

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (µg/m³)
0.1996	56.6190	0	500
0.2992	87.9918	0	500
0.4486	30.0904	0	500
0.1996	57.9864	5	500
0.4486	29.7616	5	500
0.1498	25.5620	10	500
0.4486	28.7523	10	500
0.1498	43.0629	15	500
0.4486	26.9860	15	500
0.1000	29.3207	20	500
0.4486	24.2975	20	500
0.1000	43.0234	25	500
0.4486	20.3227	25	500
0.1000	51.5959	30	500
0.4486	14.0040	30	500
0.1000	57.3848	35	500
0.3988	64.1843	35	500
0.1000	61.1853	40	500
0.3988	61.7445	40	500
0.1000	63.3563	45	500
0.3988	58.8465	45	500
0.1000	64.0636	50	500
0.3988	55.4145	50	500
0.1000	63.3563	55	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.3988	51.3369	55	500
0.1000	61.1853	60	500
0.3988	46.4384	60	500
0.1000	57.3848	65	500
0.3988	40.4149	65	500
0.1000	51.5959	70	500
0.3988	32.6409	70	500
0.1000	43.0233	75	500
0.3988	21.2631	75	500
0.1000	29.3193	80	500
0.3490	48.9538	80	500
0.1498	42.1254	85	500
0.3490	40.9659	85	500
0.1498	19.8406	90	500
0.3490	30.0218	90	500
0.1996	34.0358	95	500
0.3490	8.00980	95	500
0.2494	32.2383	100	500
0.2992	26.7367	100	500

Tabla 22

Concentración de 500 µg/m³, clave de estabilidad D

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (µg/m³)
0.5980	16.4380	0	500
2.9884	17.7163	0	500
0.5980	26.7157	5	500
2.9884	15.3101	5	500
0.4984	19.7933	10	500
2.9386	34.9604	10	500
0.3988	21.3456	15	500
2.9386	28.9174	15	500
0.2992	17.6781	20	500
2.9386	17.0361	20	500
0.2494	24.6497	25	500
2.8888	28.4359	25	500
0.1498	5.0343	30	500
2.8390	34.0612	30	500
0.1498	25.1681	35	500
2.8390	13.0890	35	500
0.1000	20.8811	40	500
1.5442	118.5000	40	500
2.7892	15.0779	40	500
0.1000	26.6178	45	500
2.7394	11.3693	45	500
0.1000	28.2726	50	500
2.6398	32.1186	50	500
0.1000	26.6178	55	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
2.5900	25.0097	55	500
0.1000	20.8811	60	500
2.5402	8.0226	60	500
0.1498	25.1681	65	500
2.4406	21.1490	65	500
0.1498	5.0343	70	500
2.3410	24.8740	70	500
0.2494	24.6497	75	500
2.2414	23.8572	75	500
0.2992	17.6780	80	500
2.1418	16.8475	80	500
0.3988	21.2737	85	500
1.9924	24.5413	85	500
0.4984	16.0931	90	500
1.8430	21.8369	90	500
0.6478	13.3056	95	500
1.6438	20.9504	95	500
0.8968	6.0005	100	500
1.3450	13.0949	100	500

Tabla 23

Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad D, elevación de la dispersión (Holland)

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (µg/m³)
0.8968	15.1874	74.3526	500
1.3948	10.0217	74.3526	500
0.4486	22.2594	86.7447	500
1.8928	19.9453	86.7447	500
0.2494	25.4108	99.1368	500
2.1418	10.6308	99.1368	500
0.1498	29.6926	111.5289	500
2.2414	25.8674	111.5289	500
0.1498	37.6199	123.9210	500
1.2952	114.8016	123.9210	500
2.2912	19.3901	123.9210	500
0.1996	39.5431	136.3131	500
2.2414	25.8081	136.3131	500
0.2494	25.4115	148.7052	500
2.1418	10.3708	148.7052	500
0.4486	22.2606	161.0973	500
1.8928	19.8587	161.0973	500
0.8968	15.1903	173.4894	500
1.3948	10.0193	173.4894	500

Tabla 24

Concentración 500 µg/ m³, clave de estabilidad F

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (µg/m³)
2.1418	2.9771	0	500
6.3748	14.8698	0	500
1.9924	6.6465	5	500
6.4246	15.9043	5	500
1.5940	12.7297	10	500
6.5740	14.7616	10	500
1.1458	13.2392	15	500
6.7732	12.1657	15	500
0.8470	15.3005	20	500
6.9724	11.5507	20	500
0.5980	12.7151	25	500
7.1218	20.8895	25	500
0.3988	8.5661	30	500
7.2712	20.7113	30	500
0.2494	6.4930	35	500
7.3708	22.0153	35	500
0.1498	8.9295	40	500
7.4206	23.1307	40	500
0.1498	19.2094	45	500
7.4206	22.7196	45	500
0.1498	21.5737	50	500
4.0840	145.3387	50	500
7.3708	19.2380	50	500
0.1498	19.2094	55	500
7.2712	6.7504	55	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
7.0222	27.9278	60	500
7.0720	12.0440	60	500
0.2494	6.4930	65	500
6.7732	23.8993	65	500
6.4246	24.3747	70	500
6.4744	4.5345	70	500
0.5980	12.7151	75	500
6.0262	12.6321	75	500
0.8470	15.3004	80	500
5.4784	12.0842	80	500
1.1458	13.0118	85	500
4.7812	8.1847	85	500
1.6936	11.4703	90	500
3.7354	11.7951	90	500

Tabla 25

Concentración 500 $\mu g/m^3$, clave de estabilidad F, área rural

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
1.6438	6.97024437	15	500
2.9884	8.26231635	15	500
0.9964	8.45669663	20	500
3.7354	12.8275409	20	500
0.6976	14.4096456	25	500
4.1836	13.1459474	25	500
0.4486	10.0263613	30	500
4.4824	17.8238809	30	500
0.2992	13.2582373	35	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
4.7314	11.663808	35	500
0.1498	6.50175591	40	500
4.8808	11.1559091	40	500
0.1498	18.2082232	45	500
4.9306	19.914775	45	500
0.1498	20.6872323	50	500
2.7892	105.706271	50	500
4.9306	22.0225121	50	500
0.1498	18.2082232	55	500
4.8808	19.1789371	55	500
0.1498	6.50175591	60	500
4.7812	5.20099431	60	500
0.2992	13.2582373	65	500
4.5322	19.7939017	65	500
0.4486	10.0263613	70	500
4.2334	19.2591958	70	500
0.6976	14.4096456	75	500
3.835	16.5807458	75	500
0.9964	8.45194128	80	500
3.2872	11.1470658	80	500
1.7434	6.10986557	85	500
2.1916	6.8177964	85	500

Tabla 26

Concentración 500 µg/m³, clave de estabilidad F, área urbana

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (µg/m³)
0.847	11.2344163	25	500
2.3908	9.17592807	25	500
0.4984	5.58233984	30	500
2.839	7.54765553	30	500
0.2992	6.83502702	35	500
3.088	16.5322081	35	500
0.1498	2.19321342	40	500
3.2872	13.2720393	40	500
0.1498	17.1486661	45	500
3.3868	14.4487604	45	500
0.1498	19.7610459	50	500
1.9426	78.2361621	50	500
3.4366	7.32190935	50	500
0.1498	17.1486661	55	500
3.3868	11.5224923	55	500
0.1498	2.19321342	60	500
3.2872	5.25115169	60	500
0.2992	6.83502702	65	500
3.088	8.58551646	65	500
0.4984	5.58233984	70	500
2.7892	10.6197265	70	500
0.847	11.2344106	75	500
2.341	10.2329259	75	500

Tabla 27

Concentración 100 µg/m³, clave de estabilidad D

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (µg/m³)
0.8968	5.99619476	0	500
1.345	12.2730758	0	500
0.8968	15.9707233	5	500
1.345	15.3295916	5	500
0.7474	12.7676554	10	500
1.3948	12.8012706	10	500
0.5482	15.5827752	15	500
1.4446	9.07929305	15	500
0.349	4.82348454	20	500
1.4446	20.8448297	20	500
0.2494	8.5085908	25	500
1.4944	15.6151758	25	500
0.1996	18.5694154	30	500
1.4944	23.1345888	30	500
0.1498	20.4525969	35	500
1.5442	6.17935905	35	500
0.1	18.2092922	40	500
1.5442	10.0922302	40	500
0.1	24.577761	45	500
1.5442	5.1439355	45	500
0.1	26.3608739	50	500
0.847	78.4936333	50	500
1.4944	25.2568541	50	500
0.1	24.577761	55	500
1.4944	15.6852051	55	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.1	18.2092922	60	500
1.4446	22.5595723	60	500
0.1498	20.4525969	65	500
1.3948	23.3822617	65	500
0.1996	18.5694154	70	500
1.345	18.4305223	70	500
0.2494	8.5085908	75	500
1.2454	23.4739288	75	500
0.349	4.81961026	80	500
1.1458	18.2224231	80	500
0.5482	13.2473068	85	500
0.9964	6.58890522	85	500

Tabla 28

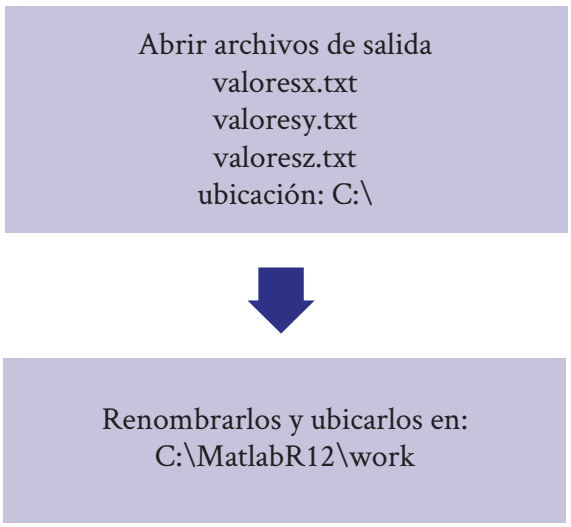
Concentración 500 $\mu g/m^3$, clave de estabilidad F, área urbana

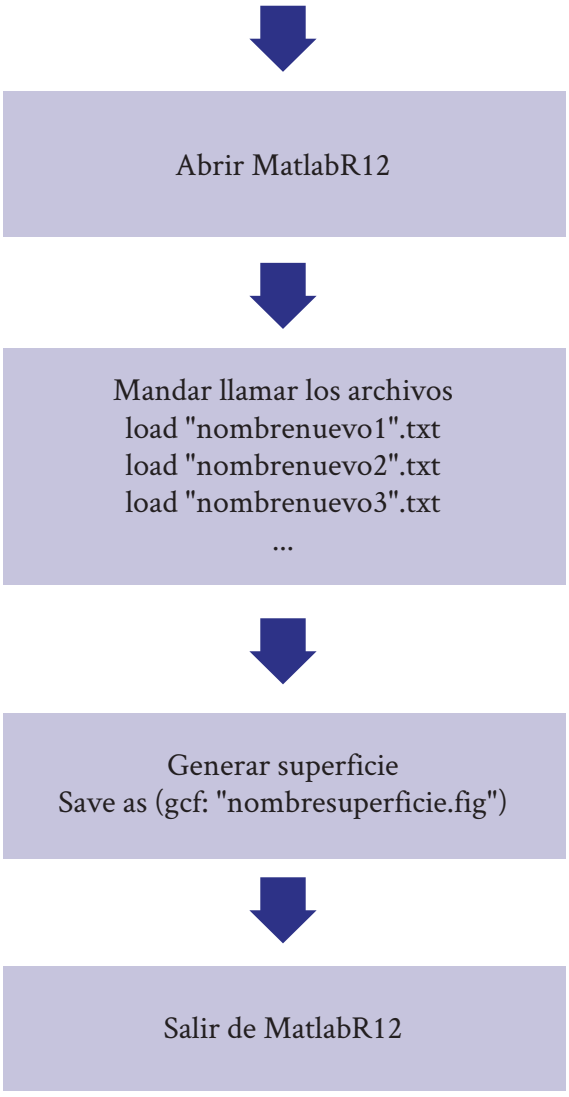
x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración ($\mu g/m^3$)
0.2494	12.7783	30	500
0.6478	12.1898	30	500
0.1498	11.5728	35	500
0.7474	8.6789	35	500
0.1000	13.9109	40	500
0.7972	8.4370	40	500
0.1000	21.5871	45	500
0.7972	19.7698	45	500
0.1000	23.5973	50	500

x (km)	y (m)	z (m)	Isoconcentración (μg/m³)
0.4984	48.0320	50	500
0.7972	22.2657	50	500
0.1000	21.5871	55	500
0.7972	19.5765	55	500
0.1000	13.9109	60	500
0.7972	7.2076	60	500
0.1498	11.5728	65	500
0.7474	7.3166	65	500
0.2494	12.7783	70	500
0.6478	11.7066	70	500

Apéndice D: diagrama de flujo y manual del usuario.

Figura 34
Generación de superficies de isoconcentración





Simulador para la dispersión de los contaminantes atmosféricos (Simdica)

Requerimientos del ordenador

El prototipo diseñado del Simulador para la Dispersión de los Contaminantes Atmosféricos (Simdica) se puede instalar en computadoras con sistema operativo superior a Windows 98; la memoria mínima requerida es 256 Kb de RAM.

Se recomienda tener instalado en el ordenador Matlab 6.0 para la graficación de las superficies de concentraciones; sin embargo, no es obligatorio.

Secciones del Simdica

Las secciones en las que se dividen el simulador educativo para la dispersión de los contaminantes atmosféricos son:

1. Ingreso de datos requeridos para la simulación.

2. Determinación de la clave de categoría de estabilidad.

3. Cálculo de la elevación de la pluma.

4. Despliegue de resultados.

La parte correspondiente al despliegue de resultados está conformada por tres pestañas (*tabs*), al hacer clic en cada una de ellas se muestra la serie de resultados correspondiente a cada sección; posteriormente, se explicarán los resultados de la simulación.

Además, se diseñó diferentes formas para especificar datos en el simulador. Estas se describen en la Tabla 29.

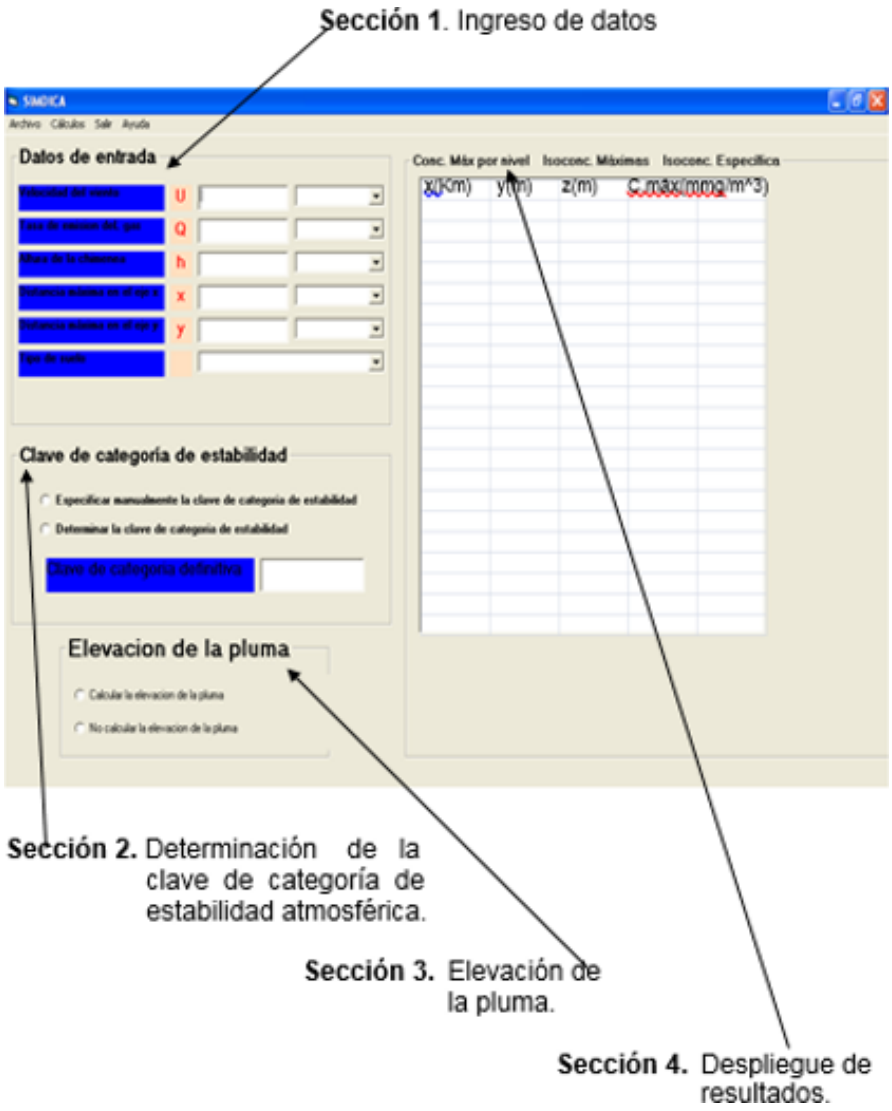
Sección 1. Ingreso de datos

La sección 1 corresponde a la parte donde el usuario debe ingresar los datos mínimos que se requieren para efectuar la simulación. Es importante mencionar que se emplea la palabra "mínimos", ya que en función de las necesidades del usuario y, por lo tanto, de las opciones elegidas, se requiere alimentarse con más valores para efectuar otros cálculos.

Una característica que hace del *software* un elemento fácil de manejar y apto para fines prácticos es que, para cada casilla en la cual se ingresa el valor de la variable correspondiente, se cuenta con el nombre de la variable, así como su nomenclatura. Por otro lado, cabe recalcar que el usuario, además de ingresar la cantidad numérica, también requiere establecer una unidad para cada variable. Sin embargo, como ayuda para la persona que está manejando el programa, se incluyen *tool tips*, que le indican la unidad que se emplea en las correlaciones, lla-

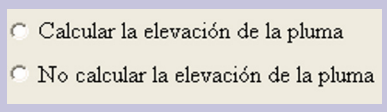
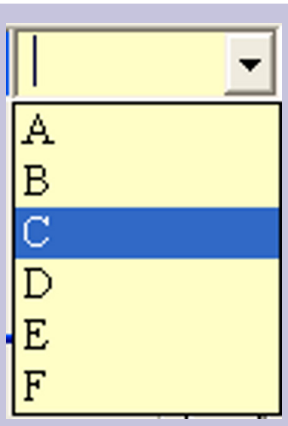
Figura 35

Pantalla principal del Simdica



Nota: Pantalla principal del Simulador de Dispersión de Contaminación Atmosféricos (Simdica)

Tabla 29
Formas de ingresar datos en Simdica

Forma	Característica	Ejemplo
Botón de opción	Se debe hacer clic en la opción deseada; los que están en la misma sección (A, B, C o D) son excluyentes, lo que implica que al elegir una, se descarta la(s) restante(s)	
Cuadro de texto	Se debe hacer clic sobre el cuadro para posicionar el cursor en él y así poder escribir el valor deseado	
Cuadro de lista	Al hacer clic en la flecha se despliega una lista; se debe dar un segundo clic en el elemento que se requiere utilizar en la simulación; estas son excluyentes	

mada también unidad *default*; en caso de que esta sea diferente a la indicada por el usuario, el programa cuenta con una rutina de conversión de unidades. En la Figura 36 se muestra un ejemplo.

Los *tool tips* son una herramienta útil, que sirve como guía rápida para la persona que usa el programa. Estos aparecen cuando el puntero del ratón se posiciona en la casilla de la cual se desconoce la unidad establecida en las ecuaciones empleadas en el simulador.

Para ver más información sobre los datos que se deben alimentar, es necesario referirse a la sección del modelo base de dispersión gaussiana.

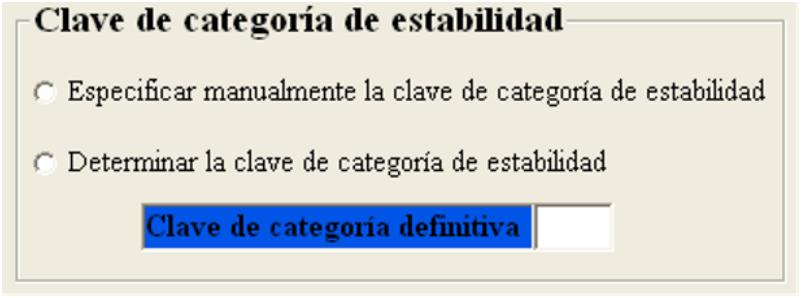
Figura 36
Datos de entrada del Simdica



Sección 2. Determinación de la clave de categoría de estabilidad

Para realizar una estimación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos, se requiere conocer la clave de categoría de estabilidad atmosférica. Para más información sobre el tema, referirse a la sección del modelo base de dispersión gaussiana. Para lo anterior, el usuario cuenta con dos opciones para especificar este dato, lo cual se muestra en la Figura 37.

Figura 37
Opciones para la sección 2



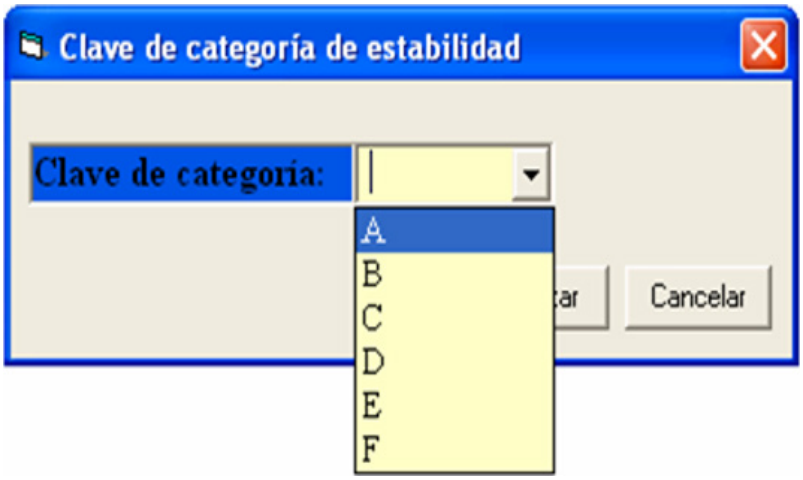
)

El usuario debe elegir la opción de acuerdo con los datos disponibles o las condiciones a las que quiera hacer la simulación. Por ejemplo, si se requiere realizar los cálculos a una condición atmosférica ya establecida, se debe optar por la alternativa 1: especificar manualmente la clave de categoría atmosférica. El cuadro de diálogo que se despliega es el expresado en la Figura 38, donde para seleccio-

nar la clave se debe hacer clic sobre la letra correspondiente y, posteriormente, en el botón Aceptar.

Figura 38

Especificar manualmente la clave de estabilidad



)

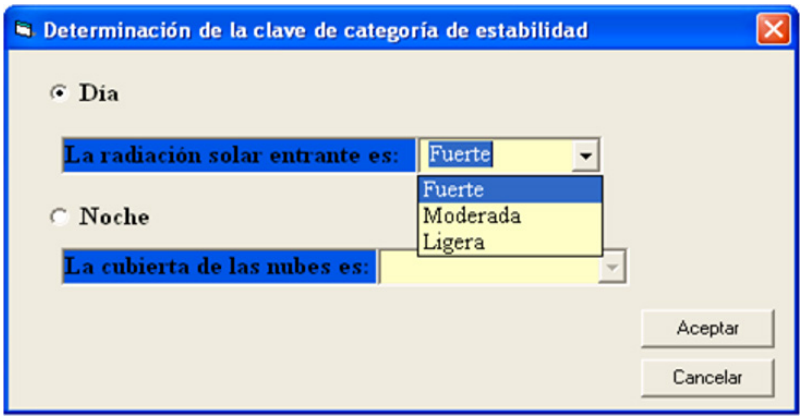
En caso de que se cuente con datos meteorológicos, como la radiación solar o la nubosidad, se puede elegir la opción 2; al hacer clic sobre dicha opción se desplegará el cuadro de diálogo en el que se solicita la información necesaria para especificar la clave de categoría de estabilidad. En esta ventana se muestra dos opciones: "Día" o "Noche"; ambas son excluyentes, lo cual implica que solo se puede elegir una.

Por otro lado, para cada una de las anteriores se muestra una lista; se debe hacer clic sobre el elemento que mejor se adapte a las condiciones meteorológicas a las cuales se vayan a realizar los cálculos de dispersión de contaminantes. Para terminar, se hace clic en el botón Aceptar. En las Figuras 39 y 40 se muestra la lista que se despliega para la opción "Día" y la opción "Noche", respectivamente. Para evitar errores en los cálculos, el programa automáticamente desactiva la lista correspondiente a la opción no elegida.

En el caso de que se haya elegido la opción equivocada en la ventana mostrada en la Figura 39, basta con hacer clic en el botón Cancelar, lo que cerrará el cuadro de diálogo correspondiente. Otra forma de efectuar la misma acción es cerrar la ventana directamente con el botón superior derecho ( )

Figura 39

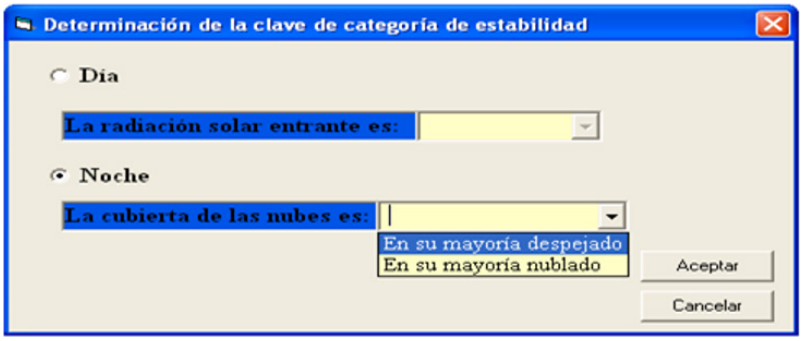
Opciones para la condición Día



)

Figura 40

Opciones para la condición Noche



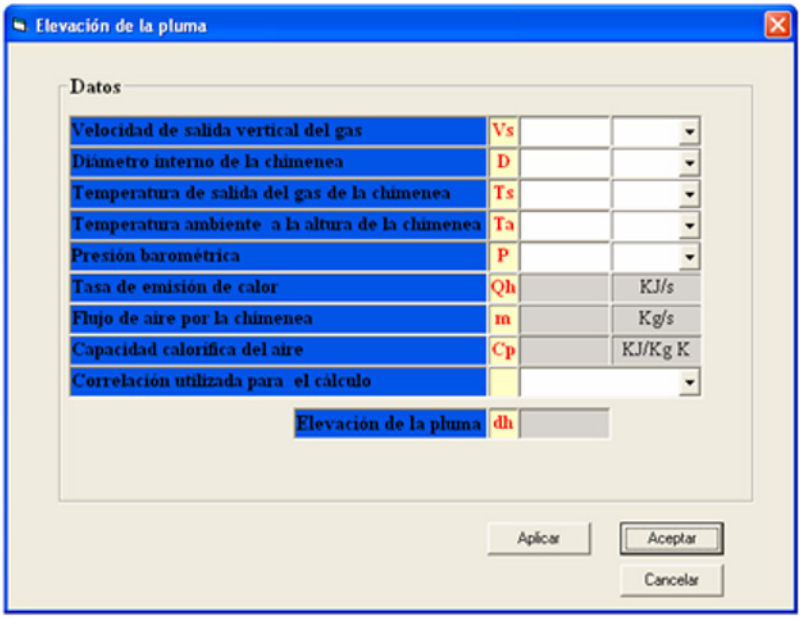
)

Sección 3. Elevación de la pluma

En la sección 3 de la pantalla principal del simulador se presentan las opciones para la elevación de la pluma. Este cálculo es opcional y, además, su realización o no depende de los datos disponibles para el usuario; ya que al elegir la primera opción se desplegará en la pantalla una ventana en donde se requiere ingresar datos adicionales a los de la sección 1 mostrada en la Figura 41; por otro lado, es importante mencionar que los datos de la sección 1 también son necesarios, así como la determinación de la clave de categoría de estabilidad atmosférica correspondiente a la sección 2. Para consultar aspectos específicos del cálculo de la elevación del penacho, debe referirse al cálculo de la elevación de la pluma.

Figura 41

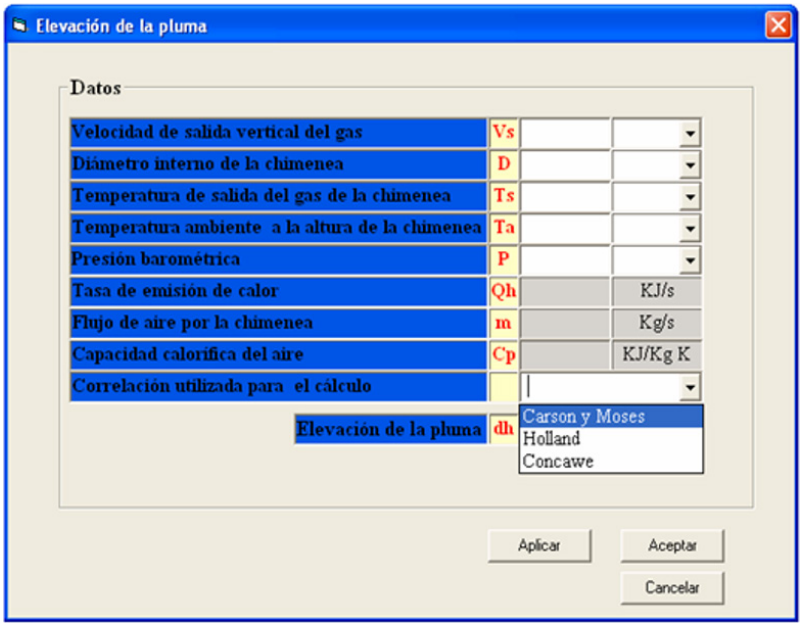
Datos ingresados para calcular elevación de la pluma



)

Figura 42

Lista de correlaciones para calcular elevación de la pluma



)

Para calcular la elevación de la pluma, después de que se ha desplegado la ventana de la Figura 42, se requiere ingresar los valores correspondientes y seleccionar de la lista disponible la correlación que se desea emplear para el cálculo (Holland, Carson y Moses, o Concawe); después se debe hacer clic en el botón Aplicar. Es importante mencionar que las casillas grises están bloqueadas (no se puede escribir sobre ellas); además, no cuentan con unidades disponibles y solo se muestra por *default*, ya que son datos calculados.

La elevación de la pluma determinada se muestra en la última casilla de la ventana. Si el usuario desea, puede comparar los valores determinados usando cada una de las correlaciones, solo con elegir una diferente ecuación y presionar el botón Aplicar. Finalmente, para cerrar la ventana se hace clic en el botón Aceptar o en el botón superior derecho ( ); o si se desea cancelar, se hace clic en el botón Cancelar.

Para especificar la capacidad calorífica del aire se utiliza la integración, teniendo como límite superior e inferior la temperatura de salida del gas de la chimenea y la temperatura ambiente a la altura también de la chimenea, respectivamente. Las constantes utilizadas se muestran en la Tabla 31.

Tabla 30

Constantes para el cálculo de la capacidad calorífica del aire

Constante	Valor
a	28.11
b	1.97E-03
c	4.80E-06
d	-1.97E-09

Sección 4. Despliegue de resultados

En esta sección se despliegan las tres diferentes listas de resultados:

- Concentraciones máximas para cada valor de z
- Trayectoria en el plano x y z de las concentraciones máximas para cada valor de z

- Trayectoria de la concentración especificada por el usuario. (Opcional, solo si el usuario desea calcular una isoconcentración)

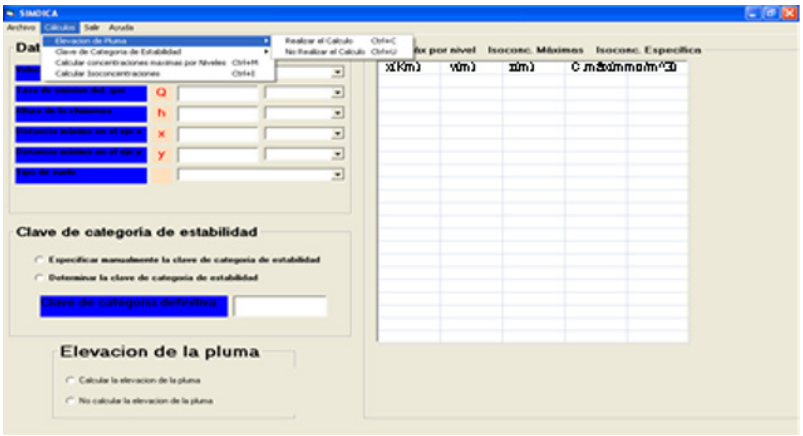
Para la última tabla, solo se requiere el ingreso de la concentración de la cual se quiera conocer su comportamiento. Por otro lado, solamente se puede ver una lista de resultados a la vez. Para cambiar la vista de una a otra es necesario hacer clic en la pestaña correspondiente.

¿Cómo realizar eventos?

En la parte superior de la ventana principal se localiza el menú con el cual se realizan las acciones sobre el simulador. Se debe presionar el botón derecho del ratón sobre la acción que se requiere ejecutar. En la Tabla 32 se muestran los elementos del menú principal, los submenús, así como las letras de acceso rápido.

Figura 43
Menú del Simdica

)



Resultados

Los resultados desplegados en las pestañas “Conc. Máx. por nivel” e “Isoconc. Específica” se generan cuando se elige del menú principal la opción “Calcular concentraciones máximas por nivel”; en cambio, si se ejecuta “Calcular Isoconcentración”, se obtendrá la tercera tabla de datos. No es condición necesaria efectuar las dos acciones. Cabe mencionar que los resultados están conformados por ubicación en el eje x (km), en el eje y (m) y z (m), además de la concentración ($\mu g/m^3$).

Tabla 31

Constantes para el cálculo de la capacidad calorífica del aire

Menú	Elementos	Submenú	Acceso rápido/ Teclas	Acción
Archivo	Nuevo	No hay	Ctrl + N	Borra las tablas de resultados
Cálculo	Elevación de la pluma	Realizar el cálculo	Ctrl + C	Despliega la ventana de la Figura 40
		No hacer el cálculo	Ctrl + U	Iguala a cero la elevación del penacho
	Clave de categoría de estabilidad	Especificarla manualmente	Ctrl + E	Despliega la ventana de la Figura 37
		Determinarla	Ctrl + D	Abre la ventana de la Figura 38
	Calcular concentraciones máximas por nivel	No hay	Ctrl + M	Calcula concentraciones máximas por nivel
	Calcular isoconcentraciones	No hay	Ctrl + I	Realiza los cálculos para la isoconcentración indicada por el usuario
Salir	Salir	No hay	Ctrl + S	Cierra el simulador
Ayuda	Acerca de…	No hay	Ctrl + A	Muestra el nombre del simulador y versión

Las tablas de resultados pueden exportarse a Microsoft Excel o enviarlas al portapapeles. Respecto a la primera alternativa, se debe mencionar que esta acción tarda aproximadamente de 2 a 4 minutos, dependiendo del número de datos. De igual modo, si se almacenan en el portapapeles es necesario seleccionar los elementos que se quiere copiar y, posteriormente, hacer clic en el menú Pegar de la paquetería en la cual se quieran adherir. Para realizar cualquiera de las dos acciones se debe hacer clic con el botón izquierdo del ratón y aparecerá un menú emergente, tal como se muestra en la Figura 44 y después se presionará el botón derecho sobre la opción elegida.

Los arreglos matriciales que se requieren para graficar las superficies en Matlab se ubican en el disco local C, en tres diferentes archivos del bloc de notas, nombrados de la siguiente manera:

- valoresx.txt
- valoresy.txt
- valoresz.txt

El usuario tiene que cambiarlos a la carpeta Work, localizada a su vez en la carpeta matlabR12 para poder ser descargados dentro de Matlab y así generar las superficies. El código que se debe ingresar en este último es:

```
load valoresx.txt;          ‘          descarga de archivos

load valoresy.txt;          ‘          descarga de archivos

load valoresz.txt           ‘          descarga de archivos

surf(valoresx,valoresy,valoresz)       ‘creación de la superficie

Para generar una superficie

sobre otra ya realizada se ingresa:    surf(valoresx,valoresy,valoresz)

                                       hold on
```

'los nombres corresponden a archivos

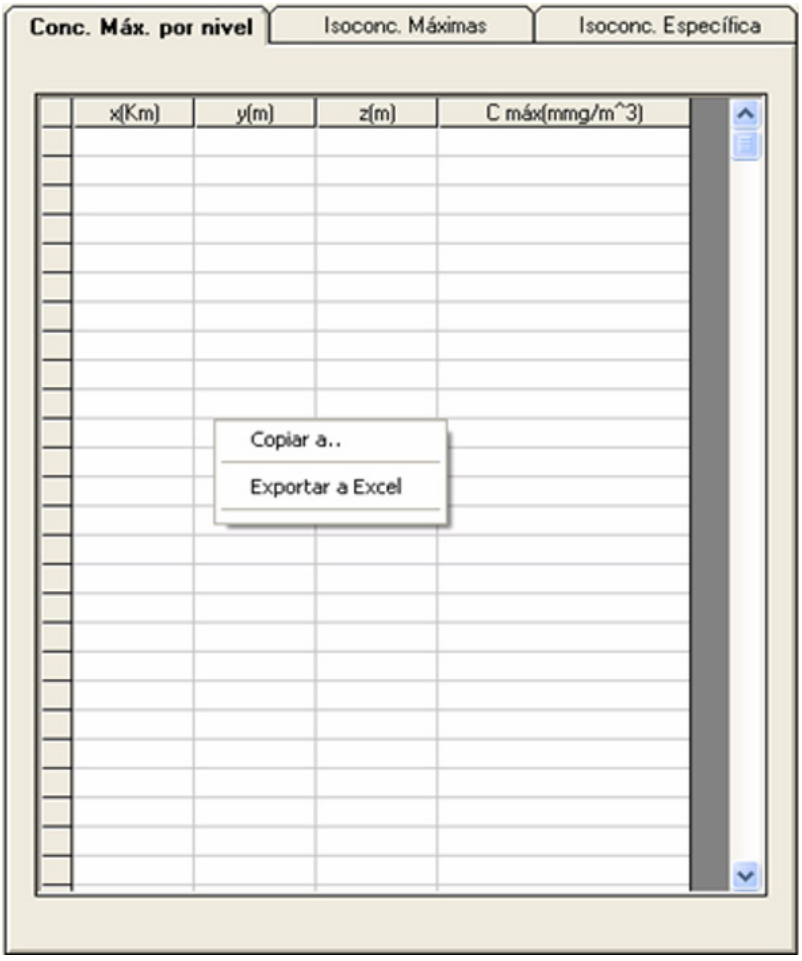
renombrados por el usuario

Si se desea guardar las matrices debe cambiarse el nombre a los archivos de texto, ya que después de cada corrida del programa se reescriben dichos archivos con los nuevos resultados.

Figura 44

Menú emergente para manipular los resultados

)



Posibles problemas y soluciones al ejecutar Simdica

En caso de que se congele la pantalla del simulador, se aconseja finalizarlo, esto es, abrir el administrador de tareas haciendo clic con botón izquierdo sobre la barra de tareas, seleccionar el programa y dar Finalizar. Las causas por las que el software falla son debidas a que se están ejecutando a la vez bastantes aplicaciones, hay una cantidad extensa de datos que se están exportando a Microsoft Excel o al portapapeles, o se cometió un error en el ingreso de información.

Glosario del Simdica

- Clic: presionar el botón izquierdo o derecho del ratón sobre la parte que se quiere elegir.
- Default: es un valor que el usuario no puede modificar necesario para los cálculos; se encuentra en el código del programa.
- Evento: ejecución de una o varias acciones que se realizan presionando el botón izquierdo del ratón en una parta del programa.
- Ordenador: computadora, ya sea portátil o de escritorio.
- *Tool tips*: mensajes de ayuda que aparecen cuando se posiciona el puntero del ratón en un lugar específico.

Rommel Luis López Alvarado
Correo: rlopez@undac.edu.pe
Perfil: Ingeniero Metalurgista e Ingeniero Ambiental.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8716-1813
Afiliación: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Javier López Alvarado
Correo: javilopal_2000@yahoo.com
Perfil: Ingeniero Geólogo.
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0572-2435
Afiliación: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.


EDITORIAL
KUNTUR