



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

## ESCOM

*Trabajo Terminal*

**"Modelo asociativo para la predicción de niveles de contaminantes atmosféricos"**

2013 – A038

*Que para cumplir con la opción de titulación curricular en la carrera de:*  
**"Ingeniería en Sistemas Computacionales"**

*Presentan:*

**Jiménez Castañón Carlos Alfredo**  
**Nava Vargas Antonio de Jesús**  
**Ramírez Guevara Luis Ángel**

Directores

*Dr. en Ciencias de la Computación Mario*  
*Aldape Pérez*

*M. en C. Euler Hernández Contreras*

México D.F. a 4 de Junio de 2014





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO**



Nº de Registro: 2013-A038

Serie: Amarilla

Junio, 2014

Documento Técnico

***Modelo asociativo para la predicción de niveles de contaminantes atmosféricos***

**Autores:**

Jiménez Castañón Carlos Alfredo <sup>1</sup>  
Nava Vargas Antonio de Jesús <sup>2</sup>  
Ramírez Guevara Luis Ángel <sup>3</sup>

**Resumen:** Este documento presenta el desarrollo de un sistema capaz de predecir los niveles de contaminantes atmosféricos en un rango de tiempo mediante la implementación de un modelo asociativo.

**Palabras Clave:** Reconocimiento de patrones, memorias asociativas, contaminantes atmosféricos.

**Directores**

**Dr. Mario Aldape Pérez**

**M. en C.  
Euler Hernández Contreras**

---

<sup>1</sup>charlyjimenez\_7@hotmail.com

<sup>2</sup>antonionava.vargas@icloud.com

<sup>3</sup>angel.guevara1@hotmail.com



ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO  
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA  
DEPARTAMENTO DE FORMACIÓN INTEGRAL E  
INSTITUCIONAL



COMISIÓN ACADÉMICA DE TRABAJOS  
TERMINALES

México, D.F. a 4 de Junio de 2014.

**DR. FLAVIO ARTURO SÁNCHEZ GARFIAS**  
**PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA**  
**DE TRABAJOS TERMINALES**  
**P R E S E N T E**

Por medio del presente, informamos que los alumnos que integran el **TRABAJO TERMINAL** titulado "Modelo Asociativo para la predicción de niveles de contaminación atmosférica" concluyeron satisfactoriamente su trabajo.

El empastado del Reporte Técnico Final y el disco compacto (CD) fueron revisados ampliamente por sus servidores y corregidos, cubriendo el alcance y el objetivo planteados en el protocolo original y de acuerdo a los requisitos establecidos por la Comisión que Usted preside.

**ATENTAMENTE**

DR. MARIO ALDAPE PÉREZ

M. EN C. EULER HERNÁNDEZ CONTRERAS

# Advertencia

*“Este documento contiene información desarrollada por la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, a partir de datos y documentos con derecho de propiedad y por lo tanto, su uso quedará restringido a las aplicaciones que explícitamente se convengan.”*

La aplicación no convenida exime a la escuela su responsabilidad técnica y da lugar a las consecuencias legales que para tal efecto se determinen.

Información adicional sobre este reporte técnico podrá obtenerse en:

La Subdirección Académica de la Escuela Superior de Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, situada en Av. Juan de Dios Bátiz s/n Teléfono: 57296000 Extensión 52000.

# Agradecimientos

Primeramente, he de agradecer a mis familiares, específicamente a mi padre Humberto, mi madre Susana y a mis hermanos José Humberto y Blanca Edith que supieron enseñarme, guiarme y darme las herramientas para poder enfrentarme al mundo; aún con carencias y limitaciones. Gran parte de lo que soy ahora se lo debo a ellos, ya que en todo momento estuvieron para estrecharme la mano o bien, darme una palmada en la espalda; sinónimo de que si se pueden cumplir los objetivos y que nunca debo darme por vencido. Parte importante de esa solida columna vertebral lo fue mi madre, quien supo darnos una vida llena de valores, responsabilidad y entrega para con nuestros semejantes y nuestras metas. A mis abuelos, que siempre me brindaron su apoyo y en todo momento confiaron en mi y a pesar de todo siempre mantuvieron la esperanza de que con esfuerzo, mis metas se verían cumplidas.

Agradezco a mis profesores a lo largo de mi trayectoria academica, ya que sin sus conocimientos, el objetivo no se hubiera cumplido, sus regaños, sus enseñanzas, sus experiencias; cada una de esas palabras y ejemplos se quedan en mi memoria y sin duda contribuyeron a mi formación profesional. Extiendo mi agradecimiento al Dr. Mario Aldape Pérez que más allá de colaborar como director de este trabajo terminal y brindarnos su conocimiento, supo darnos enseñanzas que no solo nos ayudaron a fortalecer nuestro crecimiento profesional, si no también en un aspecto personal por ser una persona digna de admiración y que siga teniendo la humildad que lo caracteriza para que siga brindando sus conocimientos a futuras generaciones.

A la institución, misma que me brindo la oportunidad de desarrollarme como Ingeniero en Sistemas Computacionales, porque en ella vivi experiencias inolvidables y sobre todo, porque los sacrificios valieron la pena y el compromiso para seguir formando parte de ella, perdurará.

A mis compañeros, que con el paso del tiempo se volvieron mis amigos, confidentes e inclusive hermanos, gracias por brindarme la oportunidad de entrar en sus vidas y crecer como un equipo. Especial agradecimiento a mis amigos y compañeros de trabajo terminal; Antonio y Luis, ya que fueron parte fundamental de mi desarrollo durante estos 5 años y que la culminación de todo ese proceso lleno de sacrificios y logros puede representarse en el cumplimiento de este objetivo.

**CARLOS ALFREDO JIMÉNEZ CASTAÑÓN.**

# Agradecimientos

Este trabajo es fruto de años de preparación, adquirir conocimientos y herramientas necesarias para lograrlo, tiempo de dedicación, noches de desvelo, de interminables ideas que solo querían ser plasmadas, y que en algún futuro verán la luz, gracias a todo el empeño que se puso en el desarrollo del presente trabajo, no podría proseguir si no doy mención a aquellas personas importantes en mi vida, personas que estuvieron atrás de mí, apoyándome totalmente, que sin ellas seguramente estas palabras no podrían ser escritas, muy en especial a mi familia; padres y hermanos (*María del Carmen Vargas Argüelles, José Antonio Nava Espejel, David Moisés Nava Vargas, Andrea Sarahí Nava Vargas*) por su apoyo incondicional y amor, a mis amigos (*inserte una lista interminable de nombres, espero que al leer esto sepan quienes son*), y a todas y cada una de esas personas que con sus consejos, conocimiento y experiencia sirvieron de guía, y ánimo cuando así se requería.

También agradezco a todos mis profesores, independientemente del conocimiento que me brindaron, que no solo me abrieron la visión al mundo inmenso de los sistemas computacionales, si no que mostraron que afuera existen miles de posibilidades y problemas que pueden ser abordados, así también que no era necesario terminar rápidamente los estudios, si no aprender, razonar y aplicar todas y cada una de las herramientas que obtuve durante todo el transcurso de esta formación; profesores que seguramente veré en algún futuro a todos y cada uno de ellos, especial mención tiene en este apartado, el Dr. Mario Aldape Pérez; persona que demostró su gran calidad humana, y conocimientos que personalmente maravillaron a mi ser, que alimentó esa hambre por explorar y dar solución de innumerables formas el presente trabajo, que representó el papel de guía, y que sin duda este trabajo no podría haberse realizado.

Especial mención a mis compañeros de Trabajo Terminal (*Carlos Alfredo Jiménez Castañón, Ángel Ramírez Guevara*) que juntos, logramos terminar esta etapa que sin duda marcará a bien el resto de nuestras vidas.

Finalmente, espero que este trabajo cumpla las expectativas, anhelos y confianza depositada en mí durante todo este tiempo.

**NAVA VARGAS ANTONIO DE JESÚS.**

# Agradecimientos

Agradezco absoluta y enteramente a mis padres José Luis Ramírez Galván y Ma. De la Luz Guevara Santana por el apoyo brindado a lo largo de este proyecto. Por sus consejos y tolerancia y por siempre ser mi mayor apoyo en tiempos difíciles. A mis hermanas Caren Angélica y Viviana Montserrat por brindarme aquellos detalles que jamás me permitieron rendirme ni voltear hacia atrás, siempre superando los obstáculos más adversos. A estas 4 personas les debo lo que soy, lo que fui y lo que seré y por los que jamás olvidaré de donde vengo, donde estoy y hacia donde iré.

A las personas que me apoyaron a lo largo de mi vida profesional con consejos, enseñanzas, regaños, jalones de cabellos y demás, todas y cada una de esas acciones representaron para mi madurez y un camino por el cual llegué a mi principal meta que es el proyecto plasmado en el presente documento.

Agradezco a mis compañeros Antonio y Charly, personas que me demostraron que la amistad va más allá de los salones de clase, que son personas honorables y respetables con las que podré contar por mucho tiempo. Les digo gracias por ser unos guerreros que aguantaron jornadas de trabajo intensas y sin descanso, jamás perdiendo el objetivo que nos planteamos juntos y siempre caminando hacia el mismo lado.

Agradezco a la vida por dejarme vivir esto que estoy viviendo. Esto que jamás olvidaré y que disfrutaré siempre.

A ESCOM gracias, nos volveremos a ver.

**LUIS ANGEL RAMIREZ GUEVARA.**

## Contenido

|  |    |
|--|----|
| Documento Técnico.....   | 2  |
| <i>Modelo asociativo para la predicción de niveles de contaminantes atmosféricos</i> ..... | 2  |
| <b>Autores:</b> .....  | 2  |
| <b>Directores</b> .....  | 2  |
| <b>Contenido</b> .....   | 8  |
| <b>Índice de Tablas</b> .....  | 13 |
| <b>Índice de Figuras</b> .....   | 15 |
| Capítulo 1. Introducción.....  | 1  |
| 1.1    Objetivos.....  | 1  |
| 1.1.1    Objetivo general .....  | 2  |
| 1.1.2    Objetivos específicos.....  | 2  |
| 1.2    Antecedentes .....  | 2  |
| 1.3    Justificación .....   | 3  |
| 1.4    Estructura del documento .....  | 4  |
| Capítulo 2. Estado del arte .....  | 5  |
| 2.1    Trabajos terminales.....  | 5  |
| 2.2    Proyectos Nacionales .....  | 6  |
| 2.3    Proyectos Internacionales .....   | 6  |
| Capítulo 3. Marco Teórico .....  | 7  |
| 3.1    Contaminación atmosférica .....   | 7  |
| 3.1.1    Tipos de contaminantes atmosféricos .....   | 7  |
| 3.1.2    Principales contaminantes del aire .....  | 7  |
| 3.1.2.1    Ozono (O <sub>3</sub> ).....  | 8  |
| 3.1.2.2    Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ).....                                       | 9  |
| 3.1.2.3    Monóxido de carbono (CO).....   | 9  |
| 3.1.2.4    Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....                                   | 10 |
| 3.1.2.5    Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> ).....                    | 11 |
| 3.1.3    Calidad del aire.....   | 11 |
| 3.1.3.1    Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA).....                           | 11 |
| 3.2    Memorias asociativas.....   | 13 |
| 3.2.1    Memoria asociativa .....  | 13 |



|             |   |    |
|-------------|---|----|
| 3.3         | Lernmatrix de Steinbuch.....  | 16 |
| 3.4         | Linear Associator de Anderson-Kohonen.....  | 17 |
| 3.5         | CHA (Clasificador Híbrido Asociativo).....  | 19 |
| 3.5.1       | Algoritmo del CHA.....  | 20 |
| 3.5.2       | Ejemplos de aprendizaje y clasificación.....  | 20 |
| 3.6         | El CHAT (Clasificador Híbrido Asociativo con Traslación).....                             | 23 |
| 3.6.1       | Interpretación teórica del CHAT.....  | 24 |
| 3.6.2       | Algoritmo del CHAT.....   | 24 |
| 3.6.3       | Ejemplo de aplicación del algoritmo del CHAT.....   | 25 |
| 3.7         | Modelo Asociativo ALFA BETA.....  | 27 |
| 3.7.1       | Fase de aprendizaje.....  | 27 |
| 3.7.2       | Operaciones Binarias $\alpha$ y $\beta$ .....   | 27 |
| 3.7.3       | Memorias Heteroasociativas Alfa-Beta (MAX y MIN).....                                     | 28 |
| 3.7.3.1     | Ejemplo de clasificación con el modelo asociativo Alfa-Beta de modo heteroasociativo..... | 29 |
| 3.7.4       | Memorias Autoasociativas Alfa-Beta (MAX y MIN).....                                       | 31 |
| 3.7.4.1     | Ejemplo de clasificación con el modelo asociativo Alfa-Beta de modo auto-asociativo.....  | 31 |
| 3.8         | Métodos de suavizamiento y pronóstico para series de tiempo.....                          | 34 |
| 3.8.1       | Método de los promedios móviles.....  | 34 |
| 3.8.2       | Método de suavización exponencial.....  | 35 |
| Capítulo 4. | Marco Metodológico.....   | 36 |
| 4.1         | Planificación del Sistema de Información (PSI).....                                       | 38 |
| 4.2         | Estudio de Viabilidad del Sistema (EVS).....  | 38 |
| 4.3         | Análisis del Sistema de Información (ASI).....  | 39 |
| 4.4         | Diseño del Sistema de Información (DSI).....  | 39 |
| 4.5         | Construcción del Sistema de Información (CSI).....  | 40 |
| 4.6         | Estándar de calidad ISO/EIC 12207.....  | 40 |
| 4.7         | Estructura.....   | 40 |
| 4.8         | Procesos.....   | 41 |
| Capítulo 5. | Planificación del Sistema de Información.....   | 42 |
| Capítulo 6. | Estudio de viabilidad del sistema.....  | 45 |
| 6.1         | Establecimiento del alcance del sistema.....  | 45 |
| 6.1.1       | Estudio de solicitud.....   | 45 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| 6.1.2       | Alcance del sistema.....                                    | 45 |
| 6.1.3       | Diagrama de contexto.....                                   | 45 |
| 6.2         | Estudio de la situación actual.....                         | 46 |
| 6.3         | Definición de requerimientos del sistema.....               | 46 |
| 6.3.1       | Requerimientos básicos del sistema.....                     | 47 |
| 6.3.2       | Descomposición inicial de sistema en subsistemas .....      | 47 |
| 6.3.3       | Modelo de Procesos .....                                    | 50 |
| 6.4         | Descripción de alternativas de solución.....                | 51 |
| 6.4.1       | Sistema Operativo .....                                     | 51 |
| 6.4.1.1     | Windows.....  | 51 |
| 6.4.1.2     | Linux.....  | 51 |
| 6.4.1.2.1   | Distribuciones.....   | 52 |
| 6.4.1.3     | Mac OS.....   | 52 |
| 6.4.2       | Lenguaje de Programación.....                               | 53 |
| 6.4.2.1     | C# (C Sharp).....   | 53 |
| 6.4.2.2     | Java.....   | 54 |
| 6.4.2.3     | C++.....  | 55 |
| 6.4.3       | Gestor de Base de Datos.....                                | 55 |
| 6.4.3.1     | PostgreSQL.....   | 55 |
| 6.4.3.2     | MySQL.....  | 56 |
| 6.4.3.3     | SQLite.....   | 56 |
| 6.5         | Valoración de alternativas .....                            | 58 |
| 6.5.1       | Costos.....   | 58 |
| 6.5.2       | Análisis de Riegos.....                                     | 59 |
| 6.6         | Selección de alternativas de solución .....                 | 62 |
| Capítulo 7. | Análisis .....  | 63 |
| 7.1         | Definición del sistema .....                                | 63 |
| 7.1.1       | Identificación de los usuarios participantes y finales..... | 63 |
| 7.1.2       | Determinación y alcances del sistema.....                   | 64 |
| 7.2         | Definición de requerimientos del sistema.....               | 65 |
| 7.3         | Análisis de casos de uso.....                               | 66 |
| 7.3.1       | Caso de uso: Iniciar Sesión .....                           | 66 |
| 7.3.2       | Caso de uso: Gestionar Usuarios.....                        | 68 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| 7.3.3       | Caso de uso: Agregar usuario.....                     | 70  |
| 7.3.4       | Caso de uso: Modificar usuario.....                   | 72  |
| 7.3.5       | Caso de uso: Eliminar usuario.....                    | 74  |
| 7.3.6       | Caso de uso: Aprendizaje.....                         | 76  |
| 7.3.7       | Caso de uso: Gestionar Bases de Datos .....           | 79  |
| 7.3.8       | Caso de uso: Respalidar base de datos .....           | 81  |
| 7.3.9       | Caso de uso: Eliminar base de datos .....             | 82  |
| 7.3.10      | Caso de uso: Restaurar base de datos.....             | 84  |
| 7.3.11      | Caso de uso: Restaurar clasificador .....             | 86  |
| 7.3.12      | Caso de uso: Consultar calidad del aire .....         | 88  |
| 7.3.13      | Caso de uso: Mostrar resultados de clasificación..... | 89  |
| 7.4         | Análisis de clases .....                              | 91  |
| 7.5         | Definición de las interfaces de usuario .....         | 93  |
| 7.6         | Elaboración del modelo conceptual de datos.....       | 99  |
| Capítulo 8. | Diseño.....   | 101 |
| 8.1         | Definición de la arquitectura del sistema.....        | 101 |
| 8.1.1       | Especificación de Excepciones .....                   | 102 |
| 8.1.2       | Catálogo de normas .....                              | 103 |
| 8.2         | Diseño de Clases .....                                | 104 |
| 8.3         | Realización de casos de uso.....                      | 105 |
| 8.3.1       | Diagramas de secuencia .....                          | 105 |
| 8.4         | Diagramas de Comunicación .....                       | 115 |
| 8.5         | Diagrama de Máquina de Estados .....                  | 124 |
| 8.6         | Diagrama de Actividades.....                          | 125 |
| 8.7         | Diseño físico de los datos .....                      | 126 |
| Capítulo 9. | Construcción del Sistema .....                        | 130 |
| 9.1         | Preparación del entorno .....                         | 131 |
| 9.2         | Implantación física de la Base de Datos .....         | 131 |
| 9.3         | Generación de componentes .....                       | 132 |
| 9.3.1       | Módulo de Gestión de Bases de Datos.....              | 132 |
| 9.3.1.2     | Tratamiento de información .....                      | 132 |
| 9.3.1.3     | Interpolación polinomial.....                         | 133 |
| 9.3.1.4     | Uso de la herramienta <i>Mathematica</i> .....        | 133 |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| 9.3.1.5          | Tratamiento del repositorio de datos.....   | 135 |
| 9.3.1.6          | Extracción de la información.....   | 138 |
| 9.3.1.7          | ExcelPackage.....   | 138 |
| 9.3.2            | Módulos de Aprendizaje y Clasificación.....   | 138 |
| 9.3.2.1          | Análisis del Modelo Asociativo.....   | 138 |
| 9.3.2.1.1        | CHAT.....   | 138 |
| 9.3.2.1.2        | Alfa-Beta.....  | 139 |
| 9.3.2.2          | Elección del Modelo Asociativo Alfa-Beta.....   | 139 |
| a)               | Propuesta de solución utilizando el modelo asociativo Alfa-Beta en modo heteroasociativo..... | 139 |
| 9.3.2.3          | Suavizado de Serie de Tiempo.....   | 149 |
| 9.3.3            | Módulo de resultados.....   | 151 |
| 9.3.3.1          | <i>Telerik</i> .....  | 151 |
| 9.3.4            | Módulo de Gestión de Usuarios.....  | 152 |
| Capítulo 10.     | Evaluación y pruebas del sistema.....   | 152 |
| 10.1             | ¿Cuál es el número de repositorios adecuado para obtener un mejor desempeño?.....             | 152 |
| 10.2             | Zona Noroeste.....  | 154 |
| 10.3             | Zona Noreste.....   | 158 |
| 10.4             | Zona Centro.....  | 161 |
| 10.5             | Zona Suroeste.....  | 165 |
| 10.6             | Zona Sureste.....   | 168 |
| Conclusión.....  |   | 172 |
| Anexos.....      |   | 174 |
|                  | Proceso de medición de las estaciones de RAMA.....  | 174 |
|                  | Instrumentos de medición.....   | 174 |
|                  | Photometric O3 analyser model (TAPI T400). .....  | 174 |
|                  | UV Fluorescence SO2 Analyzer (T100).....  | 174 |
|                  | Model T200 Nitrogen Oxide Analyzer.....   | 175 |
|                  | Model T300/T300M Carbon Monoxide Analyzer.....  | 176 |
| Referencias..... |   | 178 |

## Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1.1 Principales contaminantes y sus repercusiones en la salud. ....       | 3  |
| Tabla 3.1 Clasificación de los niveles IMECA .....                              | 12 |
| Tabla 3.2 Niveles de concentración admitidos por la Norma Oficial Mexicana..... | 12 |
| Tabla 5.1 Cronograma general de actividades.....                                | 44 |
| Tabla 6.1 Requisitos básicos del sistema.....                                   | 47 |
| Tabla 6.2 Principales distribuciones de Linux .....                             | 52 |
| Tabla 6.3 Valoración de Sistemas Operativos.....                                | 58 |
| Tabla 6.4 Valoración de los lenguajes de programación.....                      | 59 |
| Tabla 6.5 Valoración de Sistemas Gestores de Base de Datos.....                 | 59 |
| Tabla 6.6 Tabla de análisis de riesgos .....                                    | 60 |
| Tabla 6.7 Riesgo Cambio en los Requerimientos.....                              | 61 |
| Tabla 6.8 Riesgo Competencia del Algoritmo .....                                | 61 |
| Tabla 6.9 Selección de Alternativas .....                                       | 62 |
| Tabla 7.1 Usuarios del sistema.....   | 63 |
| Tabla 7.2 Requisitos funcionales.....   | 65 |
| Tabla 7.3 Requisitos no funcionales.....  | 65 |
| Tabla 7.4 Caso de uso Iniciar Sesión.....                                       | 66 |
| Tabla 7.5 Caso de uso Iniciar Gestionar Usuarios.....                           | 68 |
| Tabla 7.6 Caso de uso Agregar nuevo usuario .....                               | 70 |
| Tabla 7.7 Caso de uso Modificar Usuario .....                                   | 72 |
| Tabla 7.8 Caso de Uso Eliminar usuario. ....                                    | 74 |
| Tabla 7.9 Caso de uso Agregar Usuario .....                                     | 76 |
| Tabla 7.10 Caso de uso Consultar calidad del aire.....                          | 79 |
| Tabla 7.11 Caso de uso Respalda base de datos. ....                             | 81 |
| Tabla 7.12 Caso de uso Eliminar Base de Datos.....                              | 82 |
| Tabla 7.13 Caso de uso Restaurar Base de Datos.....                             | 84 |
| Tabla 7.14 Caso de uso Restaurar Clasificador.....                              | 86 |
| Tabla 7.15 Caso de uso Consultar calidad del aire.....                          | 88 |
| Tabla 7.16 Caso de uso Mostrar resultados de clasificación.....                 | 89 |
| Tabla 7.17 Interfaz de Usuario “SIPRAT-Iniciar Sesión” .....                    | 94 |
| Tabla 7.18 Interfaz de Usuario “SIPRAT-Iniciar Sesión” .....                    | 94 |
| Tabla 7.19 Interfaz de Usuario "SIPRAT-Gestión de Usuarios" .....               | 95 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 7.20 Interfaz de Usuario "SIPRAT-Gestión de Usuarios" ..... | 96  |
| Tabla 7.21 Interfaz de usuario "SIPRAT-Aprendizaje" .....         | 97  |
| Tabla 8.1 Excepciones del Sistema .....                           | 102 |
| Tabla 8.2 Catálogo de Normas .....                                | 103 |
| Tabla 8.3 Base de Datos SIPRAT, relación usuario.....             | 126 |
| Tabla 8.4 Base de Datos SIPRAT, relación tipo de usuarios .....   | 126 |
| Tabla 8.5 Base de Datos SIPRAT, relación contaminante.....        | 126 |
| Tabla 8.6 Base de Datos SIPRAT, relación usuario.....             | 126 |
| Tabla 8.7 Base de Datos SIPRAT, Usuarios Histórico .....          | 127 |
| Tabla 8.8 Base de Datos SIPRAT, relación anual.....               | 127 |
| Tabla 8.9 Base de Datos SIPRAT, relación mes .....                | 127 |
| Tabla 8.10 Base de Datos SIPRAT, relación día.....                | 127 |
| Tabla 8.11 Base de Datos SIPRAT, relación hora .....              | 128 |
| Tabla 9.1 Comportamiento de los contaminantes en un día.....      | 136 |
| Tabla 9.2 Suavizado para Ozono-Noroeste para el 1ro de Enero..... | 149 |

## Índice de Figuras

|   |     |
|---|-----|
| Figura 3.1 Molécula Ozono .....   | 8   |
| Figura 3.2 Molécula Dióxido de Azufre.....                              | 9   |
| Figura 3.3 Molécula Monóxido de Carbono .....                           | 10  |
| Figura 3.4 Molécula Dióxido de Nitrógeno .....                          | 10  |
| Figura 3.5 Esquema Modelo Asociativo .....                              | 13  |
| Figura 3.6 Fase de aprendizaje para la Lernmatrix de Steinbuch.....     | 17  |
| Figura 4.1 Fases de la metodología V3 .....                             | 36  |
| Figura 6.1 Diagrama de Contexto .....                                   | 46  |
| Figura 6.2 Módulo de Aprendizaje.....                                   | 47  |
| Figura 6.3 Módulo de Clasificación .....                                | 48  |
| Figura 6.4 Módulo Despliegue de resultados .....                        | 48  |
| Figura 6.5 Evolución del framework .NET .....                           | 54  |
| Figura 7.1 Relación general Usuario-Sistema .....                       | 64  |
| Figura 7.2 Diagrama de Clases General .....                             | 91  |
| Figura 7.3 Modelo entidad-relación de usuarios .....                    | 99  |
| Figura 7.4 Modelo Entidad-Relación de clasificadores .....              | 100 |
| Figura 8.1 Arquitectura del sistema.....                                | 101 |
| Figura 8.2 Diagrama de clases.....                                      | 104 |
| Figura 8.3 Diagrama de secuencia Iniciar Sesión Operador .....          | 105 |
| Figura 8.4 Diagrama de secuencia Iniciar Sesión Administrador .....     | 106 |
| Figura 8.5 Diagrama de Secuencia Agregar usuario .....                  | 107 |
| Figura 8.6 Diagrama de Secuencia Modificar Usuario .....                | 108 |
| Figura 8.7 Diagrama de Secuencia Aprendizaje del Sistema.....           | 109 |
| Figura 8.8 Diagrama de Secuencia Eliminar Usuario .....                 | 110 |
| Figura 8.9 Diagrama de Secuencia Aprendizaje del Sistema.....           | 110 |
| Figura 8.10 Diagrama de Secuencia Consultar Calidad del Aire .....      | 111 |
| Figura 8.11 Diagrama de Secuencia Eliminar Base de Datos .....          | 112 |
| Figura 8.12 Diagrama de Secuencia Gestionar Base de Datos.....          | 112 |
| Figura 8.13 Diagrama de Secuencia Restaurar Base de Datos.....          | 113 |
| Figura 8.14 Diagrama de Secuencia Restaurar clasificador .....          | 114 |
| Figura 8.15 Diagrama de Comunicación Iniciar Sesión Operador.....       | 115 |
| Figura 8.16 Diagrama de Comunicación Iniciar Sesión Administrador ..... | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 8.17 Diagrama de Comunicación Eliminar Usuario .....  | 117 |
| Figura 8.18 Diagrama de Comunicación Agregar Usuario .....   | 118 |
| Figura 8.19 Diagrama de Comunicación Aprendizaje del Sistema.....  | 119 |
| Figura 8.20 Diagrama de Comunicación Modificar usuario .....   | 120 |
| Figura 8.21 Diagrama de Comunicación Restaurar Base de Datos.....  | 121 |
| Figura 8.22 Diagrama de Comunicación Gestionar Base de Datos .....   | 122 |
| Figura 8.23 Diagrama de Comunicación Eliminar Base de Datos .....  | 123 |
| Figura 8.24 Diagrama de Máquina de Estados.....  | 124 |
| Figura 8.26 Diagrama relacional normalizado de la Base de Datos “SIPRAT” .....   | 128 |
| Figura 8.27 Diagrama relacional normalizado de la Base de Datos “SIPRAT” .....   | 129 |
| Figura 9.1 Adaptación para la Construcción del Sistema de Información .....  | 130 |
| Figura 9.2 Diagrama relacional normalizado de la Base de Datos “SIPRAT” .....  | 131 |
| Figura 9.3 Grafica que describe el comportamiento por aproximación polinomial del contaminante Ozono el día 1 de enero del 2013..... | 134 |
| Figura 9.4 Expansión de la aproximación polinomial efectuada con los parámetros “data1,x” .....                                      | 135 |
| Figura 9.5 Reconstrucción del polinomio que describe el comportamiento del contaminante Ozono el día 1 de enero del 2013.....        | 135 |
| Figura 9.6 Interacción entre el Módulo Gestión de BD y Módulo de Aprendizaje. ....   | 137 |
| Figura 9.7 Aprendizaje y recuperación.....   | 140 |
| Figura 9.8 Aprendizaje de 24 horas.....  | 147 |
| Figura 9.9 Resultado de clasificación.....   | 148 |
| Figura 9.10 Resultado de consulta al sistema.....  | 148 |
| Figura 9.11 Gráfica para el suavizado de la tabla 9.2.....   | 150 |
| Figura 9.12 Gráfica mostrada en la pantalla de clasificación.....  | 151 |
| Figura 10.1 Comparativo de los datos reales contra el resultado de clasificación de SIPRAT .....                                     | 153 |
| Figura 10.2 Desempeño con 2 y 3 repositorios .....   | 154 |
| Figura 10.3 Resultado Ozono-Noroeste .....   | 155 |
| Figura 10.4 Resultado DIóxido de Azufre-Noroeste.....  | 155 |
| Figura 10.5 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Noroeste.....   | 156 |
| Figura 10.6 Monóxido de Cabono-Noroeste .....  | 156 |
| Figura 10.7 Resultado PM10-Noroeste .....  | 157 |
| Figura 10.8 Resultado Ozono-Noreste .....  | 158 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 10.9 Resultado Dióxido de Azufre-Noreste .....      | 158 |
| Figura 10.10 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Noreste .....  | 159 |
| Figura 10.11 Resultado Monóxido de Carbono-Noreste .....   | 159 |
| Figura 10.12 Resultado PM10-Noreste .....                  | 160 |
| Figura 10.13 Resultado Ozono-Centro .....                  | 161 |
| Figura 10.14 Resultado Dióxido de Azufre-Centro.....       | 161 |
| Figura 10.15 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Centro .....   | 162 |
| Figura 10.16 Resultado Monóxido de Carbono-Centro .....    | 162 |
| Figura 10.17 Resultado PM10-Centro.....                    | 163 |
| Figura 10.18 Resultado Ozono-Suroeste .....                | 165 |
| Figura 10.19 Resultado Dióxido de Azufre-Suroeste.....     | 165 |
| Figura 10.20 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Suroeste ..... | 166 |
| Figura 10.21 Resultado Monóxido de Carbono-Suroeste .....  | 166 |
| Figura 10.22 Resultado PM10-Suroeste.....                  | 167 |
| Figura 10.23 Resultado Ozono-Sureste .....                 | 168 |
| Figura 10.24 Resultado Dióxido de Azufre-Sureste.....      | 168 |
| Figura 10.25 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Sureste .....  | 169 |
| Figura 10.26 Resultado Monóxido de Carbono-Sureste .....   | 169 |
| Figura 10.27 Resultado PM10-Sureste.....                   | 170 |
| Figura 10.28 Porcentaje de Efectividad.....                | 170 |
| Figura 0.1 Rack de aparatos de medición.....               | 177 |
| Figura 0.2 Centro de control y monitoreo .....             | 177 |

## Capítulo 1. **Introducción**

La atmósfera terrestre es una mezcla de gases y pequeñas partículas líquidas o sólidas que envuelven a la Tierra. Se compone de 3 capas llamadas: troposfera, estratosfera e ionosfera. Tiene un espesor aproximado de 10 000 km y cerca de 95% de su masa se encuentra en los primeros 19 km. Esta atmósfera contiene los siguientes elementos y compuestos [1]:

- 78% de Nitrógeno ( $N_2$ ).
- 21% de Oxígeno ( $O_2$ ).
- 0.9% de Argón (Ar).
- 0.06% de otros gases, y
- 0.04% de Bióxido de Carbono ( $CO_2$ ).

Los contaminantes atmosféricos son sustancias no deseables que en concentraciones, tiempo y circunstancias tales pueden afectar significativamente el confort, salud y bienestar de las personas, animales, plantas o bien propiedades. Este fenómeno afecta a los humanos en enfermedades que son, principalmente, enfermedades respiratorias de gravedad considerable [2].

Existen diversos estudios que tratan de solucionar este problema atmosférico que afecta principalmente a grandes ciudades en todo el mundo. En paralelo a estos estudios se han creado técnicas computacionales para predecir los cambios en los niveles de contaminantes atmosféricos. Estas técnicas se basan en distintas ramas de la computación, tales como:

- Redes Neuronales. [3] [4] [5]
- Regresión lineal. [6]
- Modelo de computación aritmética de tiempo de retardo cerebral (*TD-CMAC*). [7]
- Redes neuronales con lógica difusa (*Neuro-Fuzzy*). [8]
- Lógica difusa. [9]
- Análisis de series de tiempo. [10]
- Enfoque probabilístico. [11]

### 1.1 **Objetivos**

A continuación se muestran los puntos que el proyecto tratará de cubrir al final de su elaboración.

### 1.1.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema capaz de predecir el comportamiento de los niveles de contaminantes atmosféricos en un rango determinado de tiempo, mediante la utilización de modelos asociativos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Investigar los componentes de la atmósfera, identificando así los contaminantes que serán objeto de estudio.

Determinar los rasgos característicos más significativos para la medición de los niveles de los contaminantes atmosféricos.

Elegir el modelo asociativo a utilizar, con base a proyectos y estudios previos.

Implementar el modelo asociativo con base en los resultados obtenidos en el análisis de desempeño.

## 1.2 Antecedentes

Acontecimientos mundiales han llevado a distintos países a tomar medidas con respecto a la contaminación atmosférica, un tema que no se había contemplado hasta hace aproximadamente 50 años, con la integración total de los automóviles en la vida cotidiana.

La contaminación atmosférica tiene distintas repercusiones en la población de una región, desde problemas de salud (enfermedades respiratorias principalmente), cambios climáticos e incluso la muerte. México ocupa el segundo sitio en Latinoamérica en muertes por causas relacionadas con la contaminación atmosférica según un estudio realizado por el *Clear Air Institute*, el 24 de Abril de 2013. [1]

El problema de la contaminación atmosférica es una realidad a nivel mundial pero aún no hay soluciones óptimas para combatirla. El director del instituto que realizó el estudio con sede en Washington, apunta que los países de Latinoamérica deben adoptar un conjunto de estándares de calidad del aire para proteger la salud pública, ya que en la actualidad, no existen técnicas estandarizadas de monitoreo, ni de recolección de datos. En México, La Red de Monitoreo Atmosférico, es el único organismo que se dedica a la medición de este fenómeno, lo cual da soporte a la opinión de la directora del Centro de Ciencias Atmosféricas de la Universidad Nacional Autónoma de México, que expresa que en México el principal problema de los proyectos de monitoreo o que tenga que ver

con salud atmosférica, no se implementan de forma correcta por la falta de personal capacitado que los lleve por un rumbo exitoso.

### 1.3 Justificación

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas que sufre tanto la ciudad de México como otras ciudades; debido a ella la población ha desarrollado principalmente enfermedades respiratorias. El conocer el comportamiento de los niveles de los contaminantes atmosféricos en cierto día del año, permite al gobierno alertar a la población para que se tomen medidas preventivas al respecto.

A nivel mundial y también nacional se han desarrollado modelos computacionales para llevar a cabo la predicción de los niveles de contaminación, los cuales se detallarán en el estado del arte. Por tal motivo, se desarrollará un sistema capaz de predecir de manera óptima el comportamiento de dichos niveles, considerando el análisis de los contaminantes que atentan contra la salud de la población.

En la tabla 1.1 se describen las principales repercusiones en la salud que presentan los contaminantes mencionados anteriormente

| Contaminante                            | Efectos en la salud   |
|---|---|
| Ozono (O <sub>3</sub> )                 | El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares.   |
| Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) | Estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada, a la disminución del desarrollo de la función pulmonar.  |
| Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )    | Puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; asimismo, aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio. Los ingresos hospitalarios por cardiopatías y la mortalidad aumentan en los días en que los niveles de SO <sub>2</sub> son más elevados. |
| Monóxido de Carbono (CO)                | El monóxido de carbono es altamente tóxico para los seres humanos y otras formas de vida aeróbicas. Una exposición prolongada al monóxido de carbono puede reducir la cantidad de oxígeno usado por el cerebro hasta el punto en que la víctima queda inconsciente y puede sufrir daño cerebral o muerte por hipoxia.   |

Tabla 1.1 Principales contaminantes y sus repercusiones en la salud.

## 1.4 Estructura del documento

Este proyecto constará de 8 capítulos y una bibliografía. Una breve explicación de dichos capítulos se muestra a continuación:

**Capítulo 1.** Se da una breve introducción al proyecto, exponiendo los objetivos, antecedentes y justificación del mismo.

**Capítulo 2.** En este capítulo se detallan los proyectos relacionados en teoría y aplicación al proyecto a desarrollar.

**Capítulo 3.** Se presentan los materiales y métodos para desarrollar el proyecto.

**Capítulo 4.** Descripción general de la metodología de desarrollo empleada.

**Capítulo 5.** Se muestra el cronograma de actividades a seguir durante el proyecto.

**Capítulo 6.** El capítulo presenta las herramientas y alternativas técnicas propuestas para la elaboración del proyecto.

**Capítulo 7.** Describe los requerimientos que el sistema tendrá a nivel de programación. Se describen los principales diagramas para el diseño de un proyecto de software.

**Capítulo 8.** Se diseña la arquitectura final del sistema.

## Capítulo 2. Estado del arte

En la Escuela Superior de Cómputo, instituciones nacionales e internacionales, se han implementado proyectos con características similares que serán base para conseguir los objetivos del sistema.

A continuación mencionamos los principales sistemas que presentan características similares al proyecto y servirán de base para el desarrollo del mismo. La descripción se dividirá en 3 puntos principalmente: Trabajos terminales de la ESCOM, proyectos nacionales y proyectos internacionales.

En los proyectos de la ESCOM, se toman en cuenta solamente aquellos Trabajos Terminales que hicieron uso de modelos asociativos y trabajo con contaminantes atmosféricos.

### 2.1 Trabajos terminales

**TT 2007-0044. Sistema móvil identificador de *Kanjis* empleando memorias asociativas.** Proyecto dirigido por el Dr. Flavio Arturo Sánchez Garfias y el Dr. Cornelio Yáñez Márquez. Muestra un dispositivo móvil capaz de identificar *Kanjis* por medio de una imagen capturada. El trabajo terminal es considerado adecuado como referencia por el uso memorias asociativas, las cuales entran dentro del análisis para elegir el modelo asociativo más adecuado en el sistema a desarrollar.

**TT 2010-0048. Sistema Traductor de Lenguaje Sordomudo a Lenguaje de Caracteres implementado mediante *Memorias Asociativas Alfa-Beta*.** Sistema capaz de traducir elementos gráficos con símbolos del lenguaje sordomudo a lenguaje de caracteres. Se utilizaron diversas áreas de estudio para la realización de este Trabajo Terminal, entre los que podemos mencionar cuatro principalmente: Tratamiento de Imágenes, Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Patrones y Memorias Asociativas Alfa-Beta, esta última creada en el Centro de Investigación del Instituto Politécnico Nacional en el año 2002 y es considerada la memoria asociativa con mejor rendimiento en el mundo. Los directores de este proyecto fueron el Dr. Rolando Flores Carapia y el Dr. Benjamín Luna Benoso.

**TT 2009-0123. Clasificador de Presencia de Cardiopatía mediante *Memorias Asociativas Alfa-Beta*.** Este proyecto encabezado por *Miriam Aidé Gómez Martínez* y *Pablo Ernesto Maldonado Mendoza* tiene dos características que particularmente nos interesan. La primera de ellas, es el uso de *Memorias Asociativas Alfa-Beta*, las cuales son un modelo asociativo con gran rendimiento y que sin duda se debe tomar en cuenta para la elección del mismo. El segundo de ellos, es la parte de la obtención de los datos, los cuáles ambos serán proporcionados por Instituciones especializadas en el área y que se usan de base para el sistema.

**TT 2005-0843. Medición de partículas contaminantes empleando espectroscopia óptica de absorción diferencial.** Para nuestro Trabajo Terminal, es importante saber cómo se miden los diferentes niveles de contaminación atmosférica para saber de qué forma se abordará el problema, éste proyecto nos puede abrir un el panorama acerca de este tema.

## 2.2 Proyectos Nacionales

**RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico).** Sistema gubernamental que actualmente se encuentra monitoreando los niveles de contaminación atmosférica por medio de estaciones estratégicamente colocadas en el Distrito Federal. Este sistema ayuda a la evaluación oportuna de la calidad del aire. La base de datos del *SIMAT* está poblada con información obtenida de este sistema.

**Predicción de contaminantes atmosféricos mediante el clasificador *Gamma*.** Sistema realizado en el Centro de Investigación de Computación como proyecto para obtener el grado de *M. en C. Guadalupe de la Luz Sáenz Morales*. El proyecto está enfocado directamente al mismo problema que el nuestro, se basa en el *Clasificador Gamma*, el cual está basado en las *Memorias Asociativas Alfa-Beta*, mencionadas anteriormente.

## 2.3 Proyectos Internacionales

**Adaptive *neuro-fuzzy* based modelling for prediction of air pollution daily levels in city of Zonguldak.** Proyecto desarrollado en Turquía, para la predicción de niveles en la contaminación de aire de la ciudad de Zonguldak. Este sistema se basa en una combinación de *Redes Neuronales con Lógica Difusa*, el cuál usa dos parámetros aleatorios, pero contextualizados entre sí. Este proyecto fue con fines de investigación y fue realizado en el 2006.

**Modelado de un sistema de supervisión de la calidad del aire usando Técnicas de Fusión de Sensores y Redes Neuronales.** Sistema realizado en Madrid, España en el año 2010 como proyecto de investigación. Se basa en *Redes Neuronales y Fusión de Sensores*, el cual busca combinar diversas áreas del conocimiento que aparentemente no están relacionadas para obtener datos para supervisar la calidad del aire.

**An online air pollution forecasting system using Neural Networks.** Sistema *On-line* para predecir contaminación del aire usando *Redes Neuronales*. Fue desarrollado en Estambul, Turquía como un proyecto de Investigación gubernamental.

## Capítulo 3. Marco Teórico

En el presente capítulo, se explican los conceptos básicos que se utilizarán a lo largo del proyecto. Se presenta una breve investigación correspondiente al fenómeno de la contaminación atmosférica y la explicación de dos Modelos Asociativos, haciendo énfasis en estos ya que serán los que se tomarán de referencia para la elección del mismo.

### 3.1 Contaminación atmosférica

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre  $\text{SO}_2$  que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones.

Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , que se forma por la oxidación del  $\text{SO}_2$ , el dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$ , que se forma al oxidarse el contaminante primario  $\text{NO}$  y el ozono,  $\text{O}_3$ , que se forma a partir del oxígeno  $\text{O}_2$ .

#### 3.1.1 Tipos de contaminantes atmosféricos

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre  $\text{SO}_2$  que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones.

Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , que se forma por la oxidación del  $\text{SO}_2$ , el dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$ , que se forma al oxidarse el contaminante primario  $\text{NO}$  y el ozono,  $\text{O}_3$ , que se forma a partir del oxígeno  $\text{O}_2$ .

#### 3.1.2 Principales contaminantes del aire

Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos pero la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil. La contaminación del aire interior es producida por el consumo de tabaco, el uso de ciertos materiales de construcción,



productos de limpieza y muebles del hogar. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de volcanes, e industrias. El tipo más comúnmente reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (smog). La niebla tóxica generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores y fábricas, edificios, casas etc. [12]

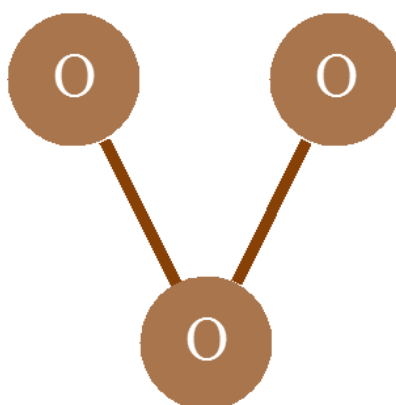
Entre los principales contaminantes atmosféricos destacan los siguientes:

### 3.1.2.1 Ozono ( $O_3$ )

El ozono es una molécula triatómica formada por átomos de oxígeno. Es un alótropo del oxígeno mucho más reactivo que el oxígeno diatómico ( $O_2$ ). El ozono es un poderoso oxidante que reacciona rápidamente con otros compuestos químicos, es inestable cuando se encuentra en altas concentraciones. Bajo condiciones atmosféricas normales el ozono decae a oxígeno diatómico en un lapso de aproximadamente 30 minutos.

El ozono es un componente natural de la atmósfera que se encuentra en bajas concentraciones y es vital para la vida. La mayor parte del ozono se encuentra en la parte superior de la atmósfera, en una región de la estratósfera a más de 10 km de la superficie, llamada ozonósfera en donde se concentra más del 90% del ozono atmosférico y forma una capa que limita el ingreso de radiación ultravioleta proveniente del Sol. Al nivel de la superficie, el ozono es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales.

La Norma Oficial Mexicana NOM-036-ECOL/1993 establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.



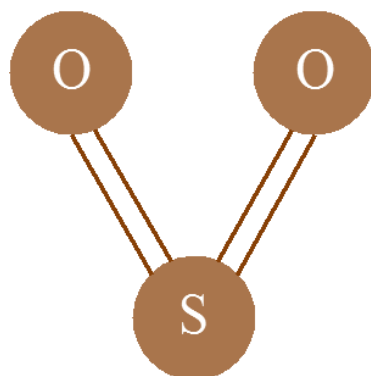
*Figura 3.1 Molécula Ozono*

### 3.1.2.2 Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)

El dióxido de azufre es un compuesto producido durante la oxidación del azufre en presencia de oxígeno. El dióxido de azufre pertenece a la familia de los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>). Estos gases tienen una gran afinidad con el agua y se disuelven fácilmente. En soluciones acuosas, el dióxido de azufre forma ácidos e interactúa con otros gases y partículas en el aire y suelen formar sulfatos y otros productos que pueden ser peligrosos para el hombre y el medio ambiente.

El azufre se encuentra disponible en materias primas como el petróleo crudo, el carbón, en las menas de algunos minerales como el aluminio, cobre, zinc, hierro y plomo. Los SO<sub>x</sub> se forman cuando se queman combustibles que contienen azufre, tales como carbón o aceite, durante el proceso de refinamiento del petróleo para extraer gasolina o cuando los metales son extraídos de las menas.

La Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993 establece los métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.



*Figura 3.2 Molécula Dióxido de Azufre*

### 3.1.2.3 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido, poco soluble en agua. Está formado por un átomo de carbono ligado covalentemente a un átomo de oxígeno. Es poco soluble en agua y su densidad es ligeramente menor que la del aire.

Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. Se produce por la combustión deficiente de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua o calefactores y los aparatos domésticos que queman combustible, como las estufas u hornallas de la cocina o los calentadores a keroseno, también pueden producirlo si no están funcionando bien. Los vehículos detenidos con el motor encendido también lo despiden.

La Norma Oficial Mexicana NOM-CCAM-001-ECOL /1993 establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

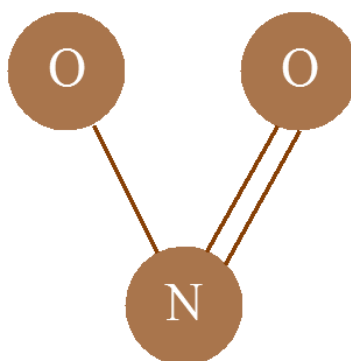


*Figura 3.3 Molécula Monóxido de Carbono*

#### 3.1.2.4 Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es un compuesto químico formado por un átomo de nitrógeno y dos de oxígeno. Es un gas de color rojo pajizo y tiene un olor irritante. El NO<sub>2</sub> es un gas de particular importancia en la atmósfera, no solo por sus efectos en la salud sino también porque absorbe luz visible y contribuye a la disminución de la visibilidad, tiene un resultado directo en el efecto de cambio climático y junto con el óxido nítrico participa en la capacidad oxidativa de la atmósfera controlando la producción de radicales incluyendo el radical hidroxilo y desempeña un papel crítico en la producción de ozono en la tropósfera debido a que la fotólisis del NO<sub>2</sub> es el factor inicial de la formación fotoquímica del ozono en ambientes contaminados y no contaminados.

La Norma Oficial NOM-CCAM-004-ECOL/1993 establece los métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.



*Figura 3.4 Molécula Dióxido de Nitrógeno*

### 3.1.2.5 **Partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)**

Se denomina PM<sub>10</sub> a pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro es menor que 10 µm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono.

La Norma Oficial Mexicana NOM-035-ECOL-1993 establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. [13]

### 3.1.3 **Calidad del aire**

La calidad del aire es una indicación de cuanto el aire esté exento de contaminación por residuos de procesos industriales o biológicos, y por lo tanto apto para ser respirado.

Actualmente los controles y la reglamentación se han incrementado y la calidad de los combustibles también se ha mejorado. Sin embargo el tráfico vehicular se ha incrementado exponencialmente, transformándose en la principal fuente contaminante en las ciudades. [14]

#### 3.1.3.1 **Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA)**

En la ciudad de México, el SIMAT es el encargado de realizar las mediciones y estandarizarlas bajo la norma del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), las cuales establecen límites permisibles para proteger la salud de la población ante los contaminantes atmosféricos. Este límite permisible equivale en el IMECA a 100 puntos, por lo que si el valor del IMECA es menor a 100 significa que hay menos riesgo de enfermarse y si es mayor 100 el riesgo se incrementa. [1]

Los valores recibidos se comparan con una escala de medición que va desde “Buena” hasta “Extremadamente mala. Los valores para clasificar la calidad del aire con respecto a la escala anterior se ilustran en la tabla siguiente donde los valores son ilustrados con los colores “Verde” para el nivel de 0-50, “Amarillo” para el intervalo de 51-100, color “Naranja” en 101-150, “Rojo” si se mide en el rango de 151-200 y finalmente “Morado” si supera los 200. [15]

En la Tabla 3.1 se ilustra lo planteado en el párrafo anterior.

| Valores | Clasificación       | Recomendaciones   |
|---------|---------------------|---|
| 0-50    | Buena               | Adecuada para llevar a cabo actividades al aire libre.  |
| 51-100  | Regular             | Posibles molestias en niños, adultos mayores y personas con enfermedades.   |
| 101-150 | Mala                | Causante de efectos adversos en la salud, especialmente en los niños y en los adultos mayores con problemas cardiovasculares y/o respiratorias como el asma.                |
| 151-200 | Muy mala.           | Causante de efectos aún mayores en adversos en la salud, especialmente en los niños y en los adultos mayores con problemas cardiovasculares y/o respiratorios como el asma. |
| >200    | Extremadamente mala | Causante de problemas en la salud de la población en general  |

Tabla 3.1 Clasificación de los niveles IMECA

Los contaminantes que se tomarán en cuenta para el proyecto son los que más efectos negativos presentan en la salud (Véase Tabla 1.1) según mediciones y estudios regidos por la Normas Oficiales Mexicanas de la Salud Ambiental. [15] Los límites aceptables por dicha norma se muestran en la tabla 3.2:

| Contaminante  | Exposición aguda   |                              | Exposición crónica              |
|---|--|------------------------------|---------------------------------|
|   | Concentración y tiempo promedio                              | Frecuencia máxima disponible | Concentración y tiempo promedio |
| Ozono (O <sub>3</sub> )<br>NOM-020-SSA1-1993 <sup>4</sup>   | 0.11 ppm <sup>5</sup><br>(1 hora)                            | Ninguna al año               | ----                            |
|   | 0.080 ppm<br>(máximo diario de promedios móviles de 8 horas) | 4 veces al año               | ----                            |
| Monóxido de carbono (CO)<br>NOM-021-SSA1-1993               | 0.11 ppm<br>(máximo diario de promedios de 8 horas)          | 1 vez al año                 | ----                            |
| Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )<br>NOM-022-SSA-1993    | 0.13<br>(24 horas)   | 1 vez al año                 | 0.03 ppm<br>(promedio anual)    |
| Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )<br>NOM-022-SSA-1993 | 0.21 ppm<br>(1 hora)   | 1 vez al año                 | ----                            |

Tabla 3.2 Niveles de concentración admitidos por la Norma Oficial Mexicana.

<sup>4</sup> Norma Oficial Mexicana en los Métodos de Medición

<sup>5</sup> Ppm: Partes por millón

## 3.2 Memorias asociativas

A continuación se presenta un extracto de la tesis de maestría, presentada por Raúl Santiago Montero [16], en el cual se ilustran los conceptos a aplicar en el presente trabajo.

### 3.2.1 Memoria asociativa

El propósito fundamental de una memoria asociativa es recuperar patrones completos a partir de patrones de entrada que pueden estar alterados con ruido aditivo, sustractivo o combinado. De acuerdo con esta afirmación, una memoria asociativa  $M$  puede formularse como un sistema de entrada y salida, idea que se esquematiza en la figura 3.5.

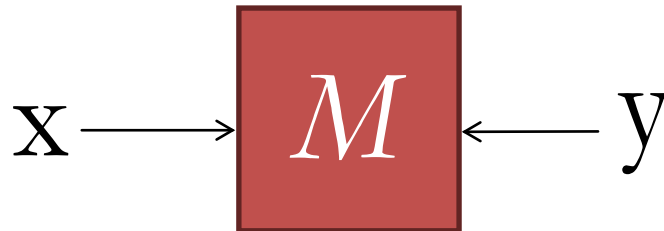


Figura 3.5 Esquema Modelo Asociativo

El patrón de entrada está representado por un vector columna denotado por  $x$ , y el patrón de salida, por el vector columna denotado por  $y$ .

Cada uno de los patrones de entrada forma una asociación con el correspondiente patrón de salida. La notación para una asociación es similar a la de una pareja ordenada; por ejemplo, los patrones  $x$  &  $y$  del esquema forman la asociación  $(x, y)$ .

Para facilitar la manipulación algebraica de los patrones de entrada y de salida, los denotaremos con las mismas letras negrillas,  $x$  &  $y$ , agregándoles números naturales como superíndices para efectos de discriminación simbólica. Por ejemplo, a un patrón de entrada  $x^1$  le corresponderá un patrón de salida  $y^1$ , y ambos formarán la asociación  $(x^1, y^1)$  del mismo modo, para un número entero positivo  $k$  específico, la asociación correspondiente será  $(x^k, y^k)$ .

La memoria asociativa  $M$  se representa mediante una matriz cuya componente  $ij$ -ésima es  $m_{ij}$ ; la matriz  $M$  se genera a partir de un conjunto finito de asociaciones conocidas de antemano: este es el conjunto fundamental de asociaciones, o simplemente conjunto fundamental. Se denota por  $p$  la cardinalidad del conjunto fundamental ( $p$  es un número entero positivo). [17]

Si  $\mu$  es un índice, el conjunto fundamental se representa de la siguiente manera:

$$\{(x^\mu, y^\mu) \mid \mu = 1, 2, \dots, p\}$$

A los patrones que conforman las asociaciones del conjunto fundamental, se les llama patrones fundamentales.

La naturaleza del conjunto fundamental proporciona un importante criterio para clasificar las memorias asociativas. Si se cumple que  $x^\mu = y^\mu \forall \mu \in \{1, 2, \dots, p\}$ , se dice que la memoria es autoasociativa; de otro modo, la memoria es heteroasociativa [18]. Para una memoria heteroasociativa se puede afirmar lo siguiente:

$$\exists \mu \in \{1, 2, \dots, p\} \text{ para el que se cumple que } x^\mu \neq y^\mu$$

Es posible que los patrones fundamentales sean alterados con diferentes tipos de ruido. Para diferenciar un patrón alterado del correspondiente patrón fundamental, usaremos la tilde en la parte superior; así, el patrón  $\tilde{x}^k$  es una versión alterada del patrón fundamental  $x^k$ , y el tipo de alteración que representa  $x^k$  se evidenciará en el contexto específico donde se use.

Si al presentarle a la memoria  $M$  un patrón alterado  $x^\omega$  como entrada ( $\omega \in \{1, 2, \dots, p\}$ ),  $M$  responde con el correspondiente patrón fundamental de salida  $y^\omega$ , se dice que la recuperación es perfecta.

Una memoria perfecta es aquella que realiza recuperaciones perfectas para todos los patrones fundamentales.

Naturalmente, también los patrones de salida pueden ser alterados; por ejemplo, si  $y^3$  es un patrón fundamental, entonces  $\tilde{y}^3$  representa una versión alterada de  $y^3$ .

Abundemos en la caracterización de los patrones de entrada, de salida y de la matriz  $M$ .

Primeramente se requiere la especificación de dos conjuntos a los que llamaremos arbitrariamente  $A$  y  $B$ . La importancia de estos dos conjuntos radica en que las componentes de los vectores columna que representan a los patrones, tanto de entrada como de salida, serán elementos del conjunto  $A$ , y las entradas de la matriz  $M$  serán elementos del conjunto  $B$ .

No hay requisitos previos ni limitaciones respecto de la elección de estos dos conjuntos, por lo que no necesariamente deben ser diferentes o poseer características especiales. Esto significa que el número de posibilidades para escoger  $A$  y  $B$  es infinito; a continuación se ejemplifican algunas de ellas:

- $A = B = R$ , donde  $R$  es el símbolo que representa al conjunto de los números reales.
- $A = R$  y  $B = \{0, 1\}$
- $A = B = \{0, 1\}$
- $A = B = \{-1, 1\}$
- $A = R$  y  $B = \{-1, 1\}$
- $A = Z$  y  $B = \{-1, 1\}$ , donde  $Z$  es el conjunto de los números enteros.

Ya que se tienen especificados los conjuntos  $A$  y  $B$ , es necesario establecer las dimensiones de los patrones, tanto de entrada como de salida.

Sean  $m, n$  números enteros positivos. Se denota por  $n$  la dimensión de los patrones de entrada, y por  $m$  la dimensión de los patrones de salida; claramente, nada impide que los valores de  $m$  y de  $n$  sean iguales. Aún más, uno de los requisitos que debe cumplir una memoria autoasociativa es que la dimensión de los patrones de entrada sea igual a la dimensión de los patrones de salida; por otro lado, si en una memoria sucede que  $m \neq n$ , es evidente que la memoria debe ser heteroasociativa.

Cada vector columna que representa un patrón de entrada tiene  $n$  componentes cuyos valores pertenecen al conjunto  $A$ , y cada vector columna que representa un patrón de salida posee  $m$  componentes cuyos valores pertenecen al conjunto  $A$ . Es decir:

$$x^\mu \in A^n \ \& \ y^\mu \in A^m \ \forall \mu \in \{1, 2, \dots, p\}$$

La  $j$ -ésima componente de un vector columna se indica con la misma letra del vector, pero sin negrilla, colocando a  $j$  como subíndice ( $j \in \{1, 2, \dots, n\}$  o  $j \in \{1, 2, \dots, m\}$  según corresponda). La  $j$ -ésima componente de un vector columna  $x^\mu$  se representa por  $x_j^\mu$

Ejemplos:

La  $i$ -ésima componente del vector columna  $x^\mu$  se representa por  $x_i^\mu$

La tercer componente del vector columna  $x^5$  se representa por  $x_3^5$

La  $j$ -ésima componente del vector columna  $y^\mu$  se representa por  $y_j^\mu$

La  $l$ -ésima componente del vector columna  $y^\omega$  se representa por  $y_l^\omega$

Al usar el superíndice  $t$  para indicar el transpuesto de un vector, se obtienen las siguientes expresiones para los vectores columna que representan a los patrones fundamentales de entrada y de salida, respectivamente:

$$x^\mu = (x_1^\mu, x_2^\mu, \dots, x_n^\mu)^t = \begin{pmatrix} x_1^\mu \\ x_2^\mu \\ \vdots \\ x_n^\mu \end{pmatrix} \in A^n$$

$$y^\mu = (y_1^\mu, y_2^\mu, \dots, y_m^\mu)^t = \begin{pmatrix} y_1^\mu \\ y_2^\mu \\ \vdots \\ y_m^\mu \end{pmatrix} \in A^m$$



Con lo anterior, es ya posible presentar el planteamiento del problema general de las memorias asociativas:

1. Fase de aprendizaje. Encontrar los operadores adecuados y una manera de generar una matriz del conjunto fundamental  $M$  que almacene las  $p$  asociaciones del conjunto fundamental

$$\{(x^1, y^1), (x^2, y^2), \dots (x^p, y^p)\}, \text{ donde } x \in A, y \in Am \forall \mu \in \{1, 2, \dots, p\}$$

Si  $\exists \mu \in \{1, 2, \dots, p\}$  tal que  $x^\mu \neq y^\mu$ , la memoria será heteroasociativa.

Si  $m = n$  &  $x^\mu = y^\mu \forall \mu \in \{1, 2, \dots, p\}$ , la memoria será autoasociativa.

2. Fase de clasificación. Hallar los operadores adecuados y las condiciones suficientes para obtener el patrón fundamental de salida  $y^\mu$ , cuando se opera la memoria  $M$  con el patrón fundamental de entrada  $x^\mu$ ; lo anterior para todos los elementos del conjunto fundamental y para ambos modos: autoasociativo y heteroasociativo.

Exhibir y caracterizar, además, el ruido que puede soportar la memoria en el patrón de entrada  $x^\omega$ , para entregar una salida perfecta  $y^\omega$

### 3.3 Lernmatrix de Steinbuch

Karl Steinbuch fue uno de los primeros investigadores en desarrollar un método para codificar información en arreglos cuadrículados conocidos como *crossbar* [19]. La importancia de la Lernmatrix [20] [21] se evidencia en una afirmación que hace Kohonen en su artículo de 1972 [18], donde apunta que las matrices de correlación, base fundamental de su innovador trabajo, vinieron a sustituir a la Lernmatrix de Steinbuch.

La Lernmatrix es una memoria heteroasociativa que puede funcionar como un clasificador de patrones binarios si se escogen adecuadamente los patrones de salida; es un sistema de entrada y salida que al operar acepta como entrada un patrón binario  $x^\mu \in A^n, A = \{0,1\}$  y produce como salida la clase  $y^\mu \in A^p$ , que le corresponde (de entre  $p$  clases diferentes), codificada ésta con un método simple, a saber: para representar la clase  $k \in \{1, 2, \dots, p\}$ , se asignan a las componentes del vector de salida  $y^\mu$  los siguientes valores:  $y_j^\mu = 1$  para  $j = k$ , y  $y_j^\mu = 0$  para  $j = 1, 2, \dots, k-1, k+1, \dots, p$

El siguiente esquema (*crossbar*) ilustra la fase de aprendizaje para la Lernmatrix de Steinbuch, al incorporar la pareja de patrones de entrenamiento  $(x^\mu, y^\mu) \in A^n \times A^p$

|           |           |           |         |           |         |           |
|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
|           | $x_1^\mu$ | $x_2^\mu$ | $\dots$ | $x_j^\mu$ | $\dots$ | $x_n^\mu$ |
| $y_1^\mu$ | $m_{11}$  | $m_{12}$  | $\dots$ | $m_{1j}$  | $\dots$ | $m_{1n}$  |
| $y_2^\mu$ | $m_{21}$  | $m_{22}$  | $\dots$ | $m_{2j}$  | $\dots$ | $m_{2n}$  |
| $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$  |         | $\vdots$  |         | $\vdots$  |
| $y_i^\mu$ | $m_{i1}$  | $m_{i2}$  | $\dots$ | $m_{ij}$  | $\dots$ | $m_{in}$  |
| $\vdots$  | $\vdots$  | $\vdots$  |         | $\vdots$  |         | $\vdots$  |
| $y_p^\mu$ | $m_{p1}$  | $m_{p2}$  | $\dots$ | $m_{pj}$  | $\dots$ | $m_{pn}$  |

Figura 3.6 Fase de aprendizaje para la Lernmatrix de Steinbuch.

Cada uno de los componentes  $m_{ij}$  de  $M$ , la Lernmatrix de Steinbuch, tiene valor cero al inicio, y se actualiza de acuerdo con la regla  $m_{ij} + \Delta m_{ij}$ , donde:

$$\Delta m_{ij} = \begin{cases} +\varepsilon \text{ si } x_i^\mu = 1 = y_j^\mu \\ -\varepsilon \text{ si } x_i^\mu = 0 \text{ y } y_j^\mu = 1 \\ 0 \text{ en otro caso} \end{cases}$$

Siendo  $\varepsilon$  una constante positiva escogida previamente.

La fase de recuperación consiste en encontrar la clase a la que pertenece un vector de entrada  $x^\omega \in A^n$  dado. Encontrar la clase significa obtener las coordenadas del vector  $y^\omega \in A^p$  que le corresponde al patrón  $x^\omega$ ; en virtud del método de construcción de los vectores  $y^\mu$  la clase debería obtenerse sin ambigüedad.

La  $i$ -ésima coordenada  $y_i^\omega$  del vector de clase  $y^\omega \in A^p$  se obtiene como lo indica la siguiente expresión, donde  $\vee$  es el operador máximo:

$$\Delta m_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ si } \sum_{j=1}^n m_{ij} * x_j^\omega = \bigvee_{h=1}^p \left[ \sum_{j=1}^n m_{hj} * x_j^\omega \right] \\ 0 \text{ en otro caso} \end{cases}$$

### 3.4 Linear Associator de Anderson-Kohonen

Respecto a la creación de este modelo de memoria asociativa, es pertinente mencionar un hecho curioso, que se ha presentado en personajes dedicados a otras ramas de la ciencia: James A. Anderson y Teuvo Kohonen obtuvieron resultados asombrosamente similares a pesar de que trabajaron independientemente y sin tener noticia uno del otro, hasta tiempo después de que aparecieron los artículos; además, estos autores tienen formaciones profesionales totalmente diferentes: Anderson es neurofisiólogo y

Kohonen es físico e ingeniero eléctrico [22] [23]

Para presentar el *Linear Associator*, consideremos de nuevo el conjunto fundamental  $\{(x^\mu, y^\mu) | \mu = 1, 2, \dots, p\}$  con:

$$A = \{0,1\}, \quad x^\mu = \begin{pmatrix} x_1^\mu \\ x_2^\mu \\ \vdots \\ x_n^\mu \end{pmatrix} \in A^n \quad y \quad y^\mu = \begin{pmatrix} y_1^\mu \\ y_2^\mu \\ \vdots \\ y_m^\mu \end{pmatrix} \in A^m$$

La fase de aprendizaje consiste de dos etapas:

1. Para cada una de las  $p$  asociaciones  $(x^\mu, y^\mu)$  se encuentra la matriz  $y^\mu \cdot (x^\mu)^t$  de dimensiones  $m \times n$

$$y^\mu \cdot (x^\mu)^t = \begin{pmatrix} y_1^\mu x_1^\mu & y_1^\mu x_2^\mu & \dots & y_1^\mu x_j^\mu & \dots & y_1^\mu x_n^\mu \\ y_2^\mu x_1^\mu & y_2^\mu x_2^\mu & \dots & y_2^\mu x_j^\mu & \dots & y_2^\mu x_n^\mu \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_i^\mu x_1^\mu & y_i^\mu x_2^\mu & \dots & y_i^\mu x_j^\mu & \dots & y_i^\mu x_n^\mu \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_m^\mu x_1^\mu & y_m^\mu x_2^\mu & \dots & y_m^\mu x_j^\mu & \dots & y_m^\mu x_n^\mu \end{pmatrix}$$

2. Se suman la  $p$  matrices para obtener la memoria

$$M = \sum_{\mu=1}^p y^\mu \cdot (x^\mu)^t = [m_{ij}]_{m \times n}$$

De manera que la  $ij$ -ésima componente de la memoria  $M$  se expresa así

$$m_{ij} = \sum_{\mu=1}^p y_i^\mu x_j^\mu$$

La fase de recuperación consiste en presentarle a la memoria un patrón de entrada  $x^\omega$ , donde  $\omega \in \{1, 2, \dots, p\}$  y realiza la operación

$$M \cdot x^\omega = \left[ \sum_{\mu=1}^p y^\mu \cdot (x^\mu)^t \right] \cdot x^\omega$$

El *Linear Associator* tiene una fuerte restricción: los vectores de entrada  $x^\mu$  deben ser ortonormales. Esta condición de ortonormalidad se puede resumir en la siguiente expresión:

$$(x^\mu)^t \cdot x^\omega = \delta_{\mu\omega} = \begin{cases} 1 & \text{si } \mu = \omega \\ 0 & \text{si } \mu \neq \omega \end{cases}$$

Donde  $\delta_{\mu\omega}$  es la conocida delta de Kronecker.

Si se cumple la condición que se manifiesta en la expresión anterior, entonces la recuperación es perfecta para todo el conjunto fundamental; es decir:

$$M \cdot x^\omega = y^\omega$$

Sin embargo, si los vectores de entrada no son *ortonormales*, suceden dos cosas:

1. El factor  $[(x^\omega)^t \cdot x^\omega]$  no es 1
2. El término  $\sum_{\mu \neq \omega} y^\mu \cdot [(x^\mu)^t \cdot x^\omega]$  no es 0

Este último término llamado cross-talk, representa el ruido producido por la interacción entre los patrones de entrada, y tiene como consecuencia inmediata que la recuperación no es perfecta, excepto si el número de patrones almacenados es pequeño comparado con la dimensión  $n$  de los vectores de entrada. Algunos investigadores afirman que ese número pequeño de patrones debe estar entre  $0,1n$  y  $0,2n$  [24] [25] [26].

### 3.5 CHA (Clasificador Híbrido Asociativo)

Está basado en dos memorias asociativas pioneras: la Lernmatrix de Steinbuch y el Linear Associator de Anderson-Kohonen.

El CHA supera ampliamente las limitaciones que presentan cada una de estas memorias asociativas, lo cual se logra al combinar las fases de aprendizaje o recuperación de ambas de forma ingeniosa. El CHA, puede aceptar valores reales en las componentes de sus vectores de entrada (a diferencia de la Lernmatrix, que sólo acepta valores binarios, 1 y 0) y a sus vectores de entrada no se les exige que sean ortonormales (los vectores de entrada del Linear Associator deben ser ortonormales, para tener recuperación perfecta en todo su conjunto fundamental). Además el CHA es un clasificador que se comporta como una memoria asociativa perfecta, según los conceptos y definiciones expuestas en el capítulo anterior, bajo condiciones más débiles que las que se requieren para las dos memorias asociativas clásicas mencionadas.

Hay algunos casos en que el CHA falla en su tarea de clasificación. Para superar estas limitaciones, se ideó y diseñó una nueva versión del CHA, mediante la adición de un nuevo paso al algoritmo: la traslación ingeniosa de los ejes coordenados. La nueva versión, denominada CHAT, Clasificador Híbrido Asociativo con Traslación, se desarrolla y ejemplifica en la segunda sección.

### 3.5.1 Algoritmo del CHA

1. Sea un conjunto fundamental de patrones de entrada de dimensión  $n$  con valores reales en sus componentes (a la manera del *Linear Associator*), que se aglutinan en  $M$  clases diferentes.
2. A cada uno de los patrones de entrada que pertenece a la clase  $k$  se le asigna el vector formado por ceros, excepto en la coordenada  $k$ -ésima, donde el valor es uno (a la manera de la *Lernmatrix*).
3. La fase de aprendizaje es similar a la del Linear Associator
4. La fase de recuperación es similar a la que usa la Lernmatrix

Este algoritmo simple nos permite diseñar un clasificador de patrones, como se ilustra a continuación.

### 3.5.2 Ejemplos de aprendizaje y clasificación

**Ejemplo 1** - Cinco patrones de dimensión 2 con valores reales, aglutinados en dos clases diferentes:

A la primera clase pertenecen dos patrones:

$$x^1 = \begin{pmatrix} -4.1 \\ 3.8 \end{pmatrix} \quad y \quad x^2 = \begin{pmatrix} -4.8 \\ 4.2 \end{pmatrix}$$

Tres patrones pertenecen a la segunda clase:

$$x^3 = \begin{pmatrix} -6.3 \\ 3.8 \end{pmatrix}, \quad x^4 = \begin{pmatrix} -6.2 \\ -3.1 \end{pmatrix} \quad y \quad x^5 = \begin{pmatrix} -7.0 \\ 3.0 \end{pmatrix}$$

Lo anterior significa, de acuerdo con el inciso 2 del algoritmo, que los patrones de salida son los siguientes:

$$y^1 = y^2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y \quad y^3 = y^4 = y^5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Para la fase de aprendizaje, de acuerdo con el inciso 3 del algoritmo, se calculan los términos  $y^\mu \cdot (x^\mu)^t$  usando la expresión 2.4 y el clasificador C se obtiene a partir de las expresiones 2.5 y 2.6

$$C = \sum_{\mu=1}^5 y^\mu \cdot (x^\mu)^t = \begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix}$$

El inciso 4 del algoritmo indica que la fase de recuperación se lleva a cabo con la expresión 2.3

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -4.1 \\ 3.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 66.89 \\ 42.33 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -4.8 \\ 4.2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 76.32 \\ 52.02 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -6.3 \\ -3.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 25.67 \\ 160.47 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 2}$$

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -6.2 \\ -3.1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 30.38 \\ 151.59 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 2}$$

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -7.0 \\ -3.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 38.3 \\ 166.2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 2}$$

**Ejemplo 2** – Ahora probemos el clasificador con dos patrones que no pertenecen al conjunto fundamental:

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -4.0 \\ 6.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 83.6 \\ 18.6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} -8.9 & 8.0 \\ -19.5 & -9.9 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -6.0 \\ -4.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 21.2 \\ 117.6 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 2}$$

Resulta evidente que este problema de clasificación no puede ser resuelto por la Lernmatrix de Setinbuch, ya que los patrones de entrada no son binarios, como lo requiere ese modelo. Por otro lado, tampoco es posible resolverlo por el Linear Associator, debido a que los patrones de entrada no son ortonormales, como lo exige la expresión 2.9

**Ejemplo 3** – Cuatro patrones de dimensión 3 con valores reales, aglutinados en dos clases diferentes:

A la primera clase pertenecen dos patrones:

$$x^1 = \begin{pmatrix} 12.0 \\ 3.0 \\ 11.0 \end{pmatrix} \quad y \quad x^2 = \begin{pmatrix} 10.0 \\ 1.0 \\ 12.0 \end{pmatrix}$$

Dos patrones pertenecen a la segunda clase:

$$x^3 = \begin{pmatrix} 2.0 \\ 8.0 \\ 12.0 \end{pmatrix} \quad y \quad x^4 = \begin{pmatrix} 1.0 \\ 9.0 \\ 11.0 \end{pmatrix}$$

Lo anterior significa, de acuerdo con el inciso 2 del algoritmo, que los patrones de salida son los siguientes:

$$y^1 = y^2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y \quad y^3 = y^4 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Para la fase de aprendizaje, de acuerdo con el inciso 3 del algoritmo, se calculan los términos  $y^\mu \cdot (x^\mu)^t$  usando la expresión 2.4 y el clasificador C se obtiene a partir de las expresiones 2.5 y 2.6

$$C = \sum_{\mu=1}^5 y^\mu \cdot (x^\mu)^t = \begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix}$$

El inciso 4 del algoritmo indica que la fase de recuperación se lleva a cabo de acuerdo con la expresión 2.3

$$\begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 12.0 \\ 3.0 \\ 11.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 529.0 \\ 340.0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10.0 \\ 1.0 \\ 12.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 500.0 \\ 323.0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2.0 \\ 8.0 \\ 12.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 352.0 \\ 418.0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 2}$$

$$\begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1.0 \\ 9.0 \\ 11.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 311.0 \\ 409.0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 2}$$

**Ejemplo 4** – Ahora probemos el clasificador con dos patrones que no pertenecen al conjunto fundamental

$$\begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 9.8 \\ 1.4 \\ 11.6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 488.0 \\ 320.0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} 22.0 & 4.0 & 23.0 \\ 3.0 & 17.0 & 23.0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2.2 \\ 7.7 \\ 12.6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 369.0 \\ 427.3 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 2}$$

En el ejemplo anterior se ha cambiado la dimensión de los patrones de entrada a 3. El clasificador tiene nuevamente recuperación perfecta y también ha recuperado patrones que no pertenecen al conjunto fundamental de manera correcta, al agrupar cada patrón en su respectiva clase.

**Ejemplo 5** – Se tienen 2 patrones de dimensión 2 con valores reales, aglutinados en dos clases diferentes:

A la primera clase pertenece el patrón

$$x^1 = \begin{pmatrix} 2.1 \\ 3.8 \end{pmatrix}$$

A la segunda clase:

$$x^1 = \begin{pmatrix} 6.3 \\ 3.8 \end{pmatrix}$$

Lo anterior significa, de acuerdo con el inciso 2 del algoritmo, que los patrones de salida son los siguientes:

$$y^1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y \quad y^2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Para la fase de aprendizaje, de acuerdo con el inciso 3 del algoritmo, se calculan los términos  $y^\mu \cdot (x^\mu)^t$  usando la expresión 2.4 y el clasificador C se obtiene a partir de las expresiones 2.5 y 2.6

$$C = \sum_{\mu=1}^5 y^\mu \cdot (x^\mu)^t = \begin{pmatrix} 2.1 & 3.7 \\ 6.3 & 3.8 \end{pmatrix}$$

El inciso 4 del algoritmo indica que la fase de recuperación se lleva a cabo de acuerdo con la expresión 2.3

$$\begin{pmatrix} 2.1 & 3.7 \\ 6.3 & 3.8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2.1 \\ 3.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 18.85 \\ 27.67 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{¿ clase 2?}$$

$$\begin{pmatrix} 2.1 & 3.7 \\ 6.3 & 3.8 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 6.3 \\ 3.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 27.67 \\ 54.13 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \text{clase 2}$$

El ejemplo anterior nos muestra los efectos causados cuando tenemos al menos un patrón de entrada de magnitud mucho mayor a las magnitudes de los otros patrones de entrada, el clasificador tiende a asignar los patrones de menos magnitud a la clase cuyos patrones tienen la mayor magnitud.

### 3.6 El CHAT (Clasificador Híbrido Asociativo con Traslación) [24]

En esta sección se mostrará un ejemplo, en el que se puede observar cómo el CHA se transforma en CHAT y así supera las limitaciones mencionadas de las dos memorias asociativas, el Linear Associator y la Lernmatrix y además, de qué manera se transforma en un clasificador de alto rendimiento, al agregar la translación de ejes.



El ejemplo 5 muestra una desventaja para la clasificación de patrones agrupados en un mismo cuadrante del plano, con una clase con patrones cuya magnitud es mucho mayor a la magnitud de los patrones de las otras clases presentes en el problema de clasificación. Esto para efectos prácticos representa una gran desventaja, dado que en el área de clasificación de patrones es una constante que los patrones de las clases a clasificar se encuentren en el mismo plano y con magnitudes diferentes en sus vectores. La solución, para resolver este problema, es la traslación de ejes, con el nuevo origen situado en el centroide de los vectores que representan a los patrones de entrada.

Sean  $x^1, x^2, \dots, x^\mu$  un conjunto de patrones de entrada, y sea  $\bar{x}$  el vector medio de todos ellos, donde:

$$\bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p x^\mu$$

Trasladando los ejes a un nuevo origen cuyas coordenadas son las del vector medio de los patrones de entrada del conjunto fundamental, se crea un nuevo conjunto de patrones trasladados  $x^{1'}, x^{2'}, \dots, x^{\mu'}$ , donde:

$$x^{\mu'} = x^\mu - \bar{x}$$

$$\forall x^\mu \text{ con } \mu \in \{1, 2, \dots, p\}$$

Una vez trasladado todo el conjunto de patrones de entrada, se procede con el algoritmo descrito anteriormente. Este proceso de traslación se hace también con todo nuevo patrón de entrada que se desee clasificar.

### 3.6.1 Interpretación teórica del CHAT

En esencia el CHAT utiliza las representaciones vectoriales de los patrones para clasificar. Esto lo hace mediante la medición del menor ángulo entre un vector prototipo, de alguna de las clases contenidas en la memoria del clasificador y un vector desconocido del cual se desea obtener su clase asociada. Para una medición del ángulo antes mencionado, y obtener una asociación más precisa con su clase, es necesaria la traslación de ejes a un punto, en el espacio de características, donde los ángulos entre vectores, representantes de las diferentes clases involucradas, sean significativos para clases distintas y muy reducidas para la misma clase.

### 3.6.2 Algoritmo del CHAT

1. Sea un conjunto fundamental de patrones de entrada de dimensión  $n$  con valores reales en sus componentes (a la manera del *Linear Associator*), que se aglutinan en  $M$  clases diferentes.

2. A cada uno de los patrones de entrada que pertenece a la clase  $k$  se le asigna el vector formado por ceros, excepto en la coordenada  $k$ -ésima, donde el valor es uno (a la manera de la *Lernmatrix*).
3. Se calcula el vector medio del conjunto de patrones muestra o prototipos con que se cuente.
4. Se toman las coordenadas del vector medio a manera de centro de un nuevo conjunto de ejes coordenados.
5. Se realiza la traslación de todos los patrones del conjunto fundamental.
6. Aplicamos la fase de aprendizaje, que es similar a la del *Linear Associator*.
7. Aplicamos la fase de recuperación, que es similar a la que usa la *Lernmatrix*.
8. Trasladamos todo patrón a clasificar en los nuevos ejes.
9. Procedemos a clasificar los patrones desconocidos.

### 3.6.3 Ejemplo de aplicación del algoritmo del CHAT

Sea el mismo conjunto de patrones del ejemplo anterior

A la primera clase pertenece el patrón:

$$x^1 = \begin{pmatrix} 2.1 \\ 3.8 \end{pmatrix}$$

A la segunda clase:

$$x^2 = \begin{pmatrix} 6.3 \\ 3.8 \end{pmatrix}$$

Se realiza la traslación de los vectores de entrada, entonces tenemos que:

$$\tilde{x} = \frac{1}{p} \sum_{\mu=1}^p x^{\mu} = \frac{1}{2} \left[ \begin{pmatrix} 2.1 \\ 3.8 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 6.3 \\ 3.8 \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} 4.2 \\ 3.8 \end{pmatrix}$$

Donde los patrones de entrada ahora son:

$$x^{1'} = \begin{pmatrix} 2.1 \\ 3.8 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 4.2 \\ 3.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2.1 \\ 0.0 \end{pmatrix}$$

$$x^{2'} = \begin{pmatrix} 6.3 \\ 3.8 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 4.2 \\ 3.8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.1 \\ 0.0 \end{pmatrix}$$

Lo anterior significa, de acuerdo con el inciso 2 del algoritmo, que los patrones de salida son los siguientes:

$$y^1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad y \quad y^2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Para la fase de aprendizaje, de acuerdo con el inciso 3 del algoritmo, se calculan los términos  $y^\mu \cdot (x^\mu)^t$  usando la expresión 2.4 y el clasificador C se obtiene a partir de las expresiones 2.5 y 2.6

$$C = \sum_{\mu=1}^5 y^\mu \cdot (x^\mu)^t = \begin{pmatrix} -2.1 & 0 \\ 2.1 & 0 \end{pmatrix}$$

El inciso 4 del algoritmo indica que la fase se lleva a cabo de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\begin{pmatrix} -2.1 & 0 \\ 2.1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -2.1 \\ 0.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.41 \\ -4.41 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 1}$$

$$\begin{pmatrix} -2.1 & 0 \\ 2.1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 2.1 \\ 0.0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4.41 \\ 4.41 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \textit{clase 2}$$

### 3.7 Modelo Asociativo ALFA BETA [22]

A diferencia de otros modelos asociativos, en la fase de clasificación o recuperación, Alfa-Beta recupera el conjunto fundamental completo en modo auto-asociativo. Para comprender el funcionamiento de Alfa-Beta se enlistan las principales propiedades que describen dicho comportamiento. Se muestra a continuación un abstracto de la información presentada en la tesis de doctorado “Memorias Asociativas Basadas en Relaciones de Orden y Operaciones Binarias” desarrollada por el Dr. Cornelio Yáñez Márquez en el año 2002. Dicha información se presenta también en el libro “Modelos Asociativos Alfa-Beta” de la colección CIDETEC-IPN.

#### 3.7.1 Fase de aprendizaje.

Encontrar los operadores adecuados y una manera de generar una matriz  $M$  que almacene las  $p$  asociaciones del conjunto fundamental [10-25].

$$\{(x^1, y^1), (x^2, y^2), (x^3, y^3), \dots, (x^p, y^p)\}$$

donde  $x^\mu \in A^n$  y  $y^\mu \in A^m \forall \mu \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$ . Si  $\exists \mu \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$  tal que  $x^\mu \neq y^\mu$ , la memoria sería heteroasociativa; si  $m = n$  y  $x^\mu = y^\mu \forall \mu \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$ , la memoria sería autoasociativa.

#### 3.7.2 Operaciones Binarias $\alpha$ y $\beta$

Los conjuntos  $A$  y  $B$  se definen así:  $A = \{0, 1\}$  y  $B = \{0, 1, 2\}$

La operación binaria  $\alpha: A \times A \rightarrow B$  está definida en la siguiente tabla:

| $x$ | $y$ | $\alpha(x, y)$ |
|-----|-----|----------------|
| 0   | 0   | 1              |
| 0   | 1   | 0              |
| 1   | 0   | 2              |
| 1   | 1   | 1              |

La operación binaria  $\alpha$  exhibe algunas propiedades algebraicas, expuestas a continuación, donde  $\vee$  es el operador máximo y  $\wedge$  es el operador mínimo.

La operación binaria  $\alpha$  posee las siguientes propiedades algebraicas:

1.  $\alpha(x, x) = 1$
2.  $(x \leq y) \leftrightarrow \alpha(x, y) \leq \alpha(y, x)$
3.  $(x \leq y) \leftrightarrow [\alpha(x, z) \leq \alpha(y, z)]$
4.  $(x \leq y) \leftrightarrow [\alpha(z, x) \geq \alpha(z, y)]$
5.  $\alpha[(x \vee y), z] = [\alpha(x, z) \vee \alpha(y, z)]$
6.  $\alpha[(x \wedge y), z] = [\alpha(x, z) \wedge \alpha(y, z)]$

La operación binaria  $\beta = B \times A \rightarrow A$  está definida en la siguiente tabla:

| x | y | $\beta(x, y)$ |
|---|---|---------------|
| 0 | 0 | 0             |
| 0 | 1 | 0             |
| 1 | 0 | 0             |
| 1 | 1 | 1             |
| 2 | 0 | 1             |
| 2 | 1 | 1             |

Propiedades algebraicas de la operación binaria  $\beta$ :

1.  $\beta(1, x) = x$
2.  $\beta(x, x) = x \forall x \in A$
3.  $(x \leq y) \rightarrow [\beta(x, z) \leq \beta(y, z)]$
4.  $(x \leq y) \rightarrow [\beta(z, x) \leq \beta(z, y)]$
5.  $\beta[(x \vee y), z] = \beta(x, z) \vee \beta(y, z)$
6.  $\beta[(x \wedge y), z] = \beta(x, z) \wedge \beta(y, z)$
7.  $\beta[x, (y \vee z)] = \beta(x, y) \vee \beta(x, z)$
8.  $\beta[x, (y \wedge z)] = \beta(x, y) \wedge \beta(x, z)$

Propiedades de la aplicación combinada de ambas operaciones  $\alpha$  y  $\beta$

1.  $\beta[\alpha(x, y), y] = x$
2.  $\beta[\alpha(x, y), x] = x$
3.  $\beta[\alpha(x, x), y] = y$

Lo anterior significa que  $\beta$  es la operación inversa de  $\alpha$  por la derecha y por la izquierda.

### 3.7.3 Memorias Heteroasociativas Alfa-Beta (MAX y MIN)

En el diseño de la memoria se utilizan los operadores matriciales  $\Delta \alpha$ ,  $\nabla \alpha$ ,  $\Delta \beta$ ,  $\nabla \beta$  definidos así:

1.- Operación  $\alpha$ MAX:  $P_{m \times r} \nabla_{\alpha} Q_{r \times n} = [f_{ij}^{\alpha}]_{m \times n}$ , donde

$$f_{ij}^{\alpha} = \bigvee_{k=1}^r \alpha(p_{ik}, q_{kj})$$

2.- Operación  $\beta$ MAX:  $P_{m \times r} \nabla_{\beta} Q_{r \times n} = [f_{ij}^{\beta}]_{m \times n}$ , donde

$$f_{ij}^{\beta} \bigvee_{k=1}^r \beta(p_{ik}, q_{kj})$$

3.- Operación  $\alpha$ MIN:  $P_{m \times r} \Delta_{\alpha} Q_{r \times n} = [h_{ij}^{\alpha}]_{m \times n}$ , donde

$$h_{ij}^{\alpha} \bigwedge_{k=1}^r \alpha(p_{ik}, q_{kj})$$

4.- Operación  $\beta$ MIN:  $P_{m \times r} \Delta_{\beta} Q_{r \times n} = [h_{ij}^{\beta}]_{m \times n}$ , donde

$$h_{ij}^{\beta} \bigwedge_{k=1}^r \beta(p_{ik}, q_{kj})$$

### 3.7.3.1 Ejemplo de clasificación con el modelo asociativo Alfa-Beta de modo heteroasociativo.

Dados los siguientes patrones de entrada:

$$x_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Y sus respectivas etiquetas de clase:

$$y_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Realice un aprendizaje y clasificación de modo heteroasociativo empleando el modelo asociativo Alfa-Beta.

- Efectuando el aprendizaje con  $\alpha$ , es decir aplicamos la operación  $\alpha$  de cada uno de los patrones de entrada por su respectiva etiqueta de clase para la obtención de las matrices correspondientes a cada patrón de entrada.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 0 \ 0 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [0 \ 1 \ 1 \ 0] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 1 \ 0 \ 0] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- Obteniendo las matrices resultantes, procedemos a compararlas componente a componente y seleccionamos las de valor menor para la conformación de la matriz  $\alpha$ MIN.

$$\alpha\text{MIN} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

- Efectuaremos la operación  $\beta$  con la matriz  $\alpha$ MIN por cada uno de los patrones de entrada.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \\ 1 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \\ 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \\ 0 \vee 1 \vee 1 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \vee 1 \vee 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \\ 1 \vee 1 \vee 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \end{bmatrix}$$

- Debido a que la fase de aprendizaje se llevó a cabo con  $\alpha$ MIN, efectuaremos la recuperación con  $\beta$ MAX, es decir, efectuaremos una comparación en cada una de las filas de la matriz y seleccionaremos el valor mayor. Quedando de la siguiente forma.

$$\begin{bmatrix} 0 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \\ 1 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \\ 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \\ 0 \vee 1 \vee 1 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \vee 1 \vee 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \\ 1 \vee 1 \vee 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \vee 0 \vee 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar, el patrón resultante es la etiqueta de clase establecida para cada uno de los patrones de entrada, dicho de otra manera se obtuvo una recuperación por completo de las etiquetas de clase asignadas para cada vector.

### 3.7.4 Memorias Autoasociativas Alfa-Beta (MAX y MIN)

#### 3.7.4.1 Ejemplo de clasificación con el modelo asociativo Alfa-Beta de modo auto-asociativo.

Dados los siguientes patrones de entrada:

$$x_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Realice un aprendizaje y clasificación de modo auto-asociativo empleando el modelo asociativo Alfa-Beta.

- Suponiendo que realización del aprendizaje se lleva a cabo con el operador  $\alpha$

A y B se encuentran definidos de la siguiente manera:

$$A = \{0,1\}$$

$$B = \{0,1,2\}$$

Partiendo de las tablas de verdad establecidas para aprendizaje y recuperación:

**Aprendizaje**

| x | y | $\alpha(x,y)$ |
|---|---|---------------|
| 0 | 0 | 1             |
| 0 | 1 | 0             |
| 1 | 0 | 2             |
| 1 | 1 | 1             |

**Recuperación**

| x | y | $\beta(x,y)$ |
|---|---|--------------|
| 0 | 0 | 0            |
| 0 | 1 | 0            |
| 1 | 0 | 0            |
| 1 | 1 | 1            |
| 2 | 0 | 1            |
| 2 | 1 | 1            |



Los operadores MAX y MIN se encuentran definidos de la siguiente forma:

$\wedge$ : Operador min     $\vee$ : Operador MAX

- Efectuando el aprendizaje con  $\alpha$ , es decir aplicamos la operación  $\alpha$  de cada uno de los patrones de entrada por sí mismo para la obtención de las matrices correspondientes a cada patrón de entrada.

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 0 \ 0 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [0 \ 1 \ 1 \ 0] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 1 \ 0 \ 0] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- Obteniendo las matrices resultantes, procedemos a compararlas componente a componente y seleccionamos las de valor mayor para la conformación de la matriz  $\alpha$ MAX.

$$\alpha\text{MAX} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Debido a que la fase de aprendizaje se llevó a cabo con  $\alpha$ MAX, efectuaremos la recuperación con  $\beta$ MIN.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 0 & 0 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 0 & 0 \wedge 1 & 0 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 \\ 0 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 1 \wedge 1 & 0 \wedge 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 0 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \end{bmatrix}$$

- Efectuaremos una comparación en cada una de las filas de la matriz y seleccionaremos el valor menor. Quedando de la siguiente forma.

$$\begin{bmatrix} 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 0 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 0 \wedge 0 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 0 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 0 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar, el patrón resultante es el mismo patrón de entrada. Obteniendo así una recuperación completa del conjunto fundamental. Tal como se muestra en el teorema (x) mostrado anteriormente.

### 3.8 Métodos de suavizamiento y pronóstico para series de tiempo

Son métodos que eliminan las fluctuaciones aleatorias de la serie de tiempo, y ayudan a proporcionar datos menos distorsionados del comportamiento real.

Como se mencionó con anterioridad, Las series de tiempo son un conjunto de datos numéricos que se obtienen en períodos regulares y específicos a través del tiempo.

La principal función que cumplen las series de tiempo es hacer proyecciones o pronósticos sobre una actividad futura, lo cual permite planear y tomar decisiones a corto o largo plazo.

#### 3.8.1 Método de los promedios móviles

El movimiento medio de orden N de una serie de valores  $Y_1, Y_2, Y_3... Y_n$  se define por la sucesión de valores correspondientes a las medias aritméticas.

Por ejemplo:

Dados los valores 4, 6, 8, 10, 12 tendríamos para el movimiento medio de orden 2

$$\frac{4 + 6}{2}; \frac{6 + 8}{2}; \frac{8 + 10}{2}; \frac{10 + 12}{2}$$

O sea los valores 5; 7; 9; 11

Para el movimiento medio de orden 3 se tiene la serie

$$\frac{4 + 6 + 8}{3}; \frac{6 + 8 + 10}{3}; \frac{8 + 10 + 12}{3}$$

O sea los valores 6; 8; 10

Para el movimiento de orden 4

$$\frac{4 + 6 + 8 + 10}{4}; \frac{6 + 8 + 10 + 12}{4}$$

O sea los valores 7,12

Una de las ventajas de este método es que si se utiliza adecuadamente estos movimientos medios, se eliminan los movimientos o variaciones estacionales, cíclicas e irregulares, quedando sólo el movimiento de tendencia. Este método presenta el inconveniente de que se pierden datos iniciales y finales de la serie original. También se puede observar que a medida que N crece, la cantidad de nuevos datos se reduce

### 3.8.2 Método de suavización exponencial

Este método contiene un mecanismo de autocorrección que ajusta los pronósticos en dirección opuesta a los errores pasados. Es un caso particular de promedios móviles ponderados de los valores actuales y anteriores en el cual las ponderaciones disminuyen exponencialmente. Se emplea tanto para suavizar como para realizar pronósticos. Se emplea la siguiente fórmula:

$$Y_{t+1} = \alpha * X_t + (1 - \alpha) * Y_t$$

Donde:

$Y_{t+1}$  = Pronostico para cualquier periodo futuro

$\alpha$  = Constante de suavización

$X_t$  = Valor real para el periodo de tiempo

$Y_t$  = Pronostico hecho previamente para el periodo de tiempo

Cuando exista menos dispersión en los datos reales respecto a los datos pronosticados entonces será más confiable el método empleado. Para saber cuan preciso es el método empleado en la realización del pronóstico se utiliza la siguiente fórmula del **cuadrado medio del error (CME)** como indicador de precisión del pronóstico:

$$CME = (\sum (Y_t - X_t)^2) / n$$

Siendo n el número de errores

## Capítulo 4. Marco Metodológico

Para el desarrollo de este Trabajo Terminal emplearemos la metodología Métrica Versión 3, propiedad del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, dicha metodología nos proporciona las siguientes ventajas. [27]

- Abarca el desarrollo completo de Sistemas de Información no importando su complejidad o magnitud, por lo cual éste puede adaptarse dependiendo de las actividades del proyecto.
- Descompone cada uno de los procesos en actividades, y éstas a su vez en tareas. Para cada tarea se describe su contenido haciendo referencia a sus principales acciones, productos, técnicas, prácticas y participantes.
- Contempla el desarrollo de Sistemas de Información para las distintas tecnologías que actualmente están conviviendo y los aspectos de gestión que aseguran que el proyecto cumplirá sus objetivos en términos de calidad.

En la figura 3 se muestran las etapas del proceso que sigue esta metodología para el desarrollo del sistema.

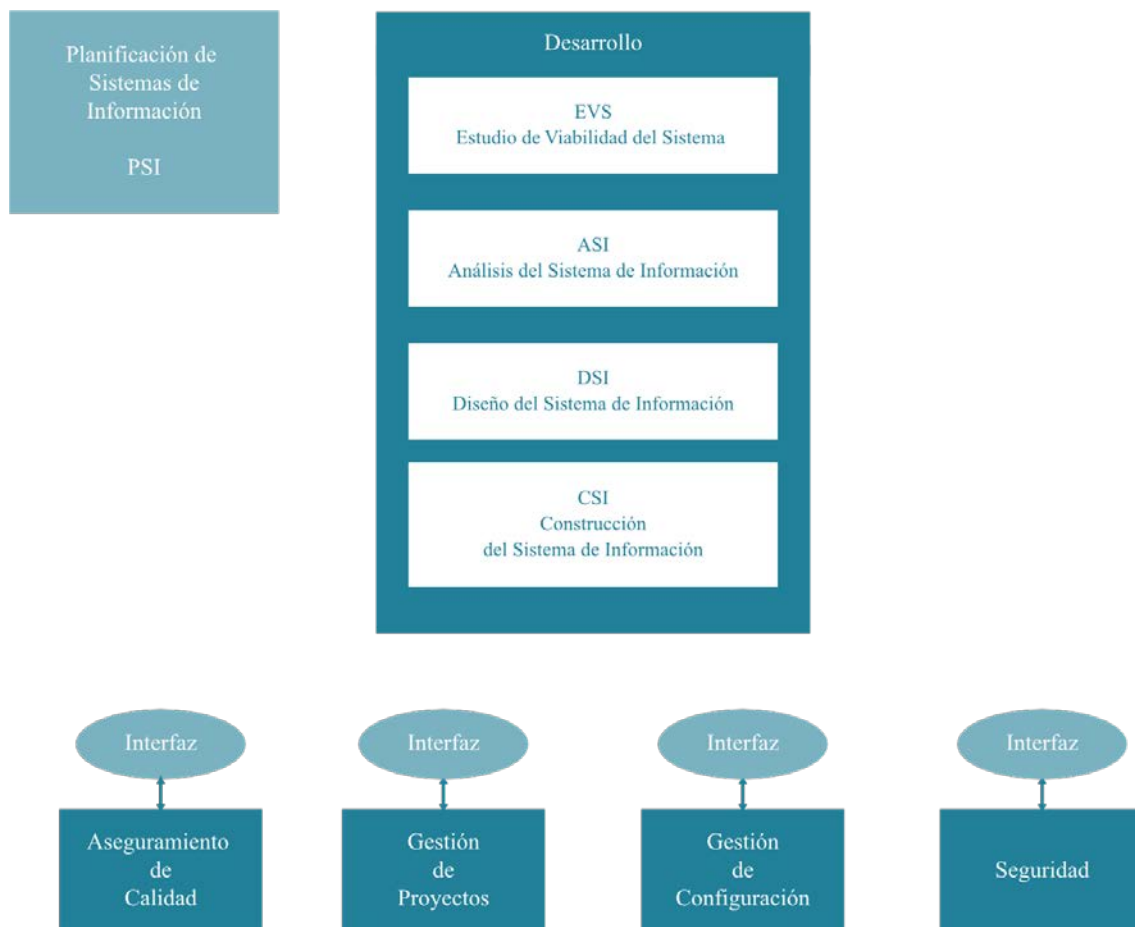


Figura 4.1 Fases de la metodología V3



os procesos a seguir se muestran a continuación, ajustándolos a las necesidades del proyecto, es decir, tomando las actividades y tareas convenientes.

- Planificación del Sistema de Información (PSI).
- Estudio de Viabilidad del Sistema (EVS).
- Análisis del Sistema de Información (ASI).
- Diseño del Sistema de Información (DSI).
- Construcción del Sistema de Información (CSI).

Se excluirán dos fases del proyecto, ya que el sistema a desarrollar no será implementado en una empresa y toda la información que será utilizada para el desarrollo del mismo será extraída del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, SIMAT. Además de que el desarrollo del proyecto es únicamente de un año.

- Implantación y Aceptación del Sistema (IAS).
- Mantenimiento de Sistemas de Información (MSI).

#### **4.1 Planificación del Sistema de Información (PSI)**

Planificación En el proceso de Planificación del Sistema de Información, vamos a establecer un marco de referencia para el desarrollo de nuestro Trabajo Terminal que responda a los objetivos que se pretenden llevar a cabo.

#### **4.2 Estudio de Viabilidad del Sistema (EVS)**

En esta etapa, se pretende analizar un conjunto concreto de necesidades, con la idea de proponer una solución a corto plazo. Los criterios con los que se hace esta propuesta no serán estratégicos sino tácticos y relacionados con aspectos económicos, técnicos, legales y operativos.

Se ha considerado que este proceso es obligatorio aunque la conveniencia de la realización del estudio de la situación actual depende del valor añadido previsto para la especificación de requisitos y para el planteamiento de alternativas de solución.

Para valorar las alternativas planteadas y determinar una única solución, se estudiará el impacto en la organización de cada una de ellas, la inversión y los riesgos asociados. El resultado final de este proceso son los productos relacionados con la solución que se propone para cubrir la necesidad concreta que se planteó en el proceso, y que depende de si la solución conlleva desarrollo a medida o no.

### **4.3 Análisis del Sistema de Información (ASI).**

El propósito de este proceso es conseguir la especificación detallada del sistema de información, a través de un catálogo de requisitos y una serie de modelos que cubran las necesidades de información de los usuarios para los que se desarrollará el sistema de información y que serán la entrada para el proceso de Diseño del Sistema de Información.

Métrica versión 3 cubre tanto desarrollos estructurados como orientados a objetos, y las actividades de ambas aproximaciones están integradas en una estructura común aunque presenta alguna actividad exclusiva para cada tipo de desarrollo.

En primer lugar se describe inicialmente el sistema de información, a partir de los productos generados en el proceso Estudio de Viabilidad del Sistema (EVS). Se delimita su alcance, se genera un catálogo de requisitos generales y se describe el sistema mediante unos modelos iniciales de alto nivel.

Se recogen de forma detallada los requisitos funcionales que el sistema de información debe cubrir, catalogándolos, lo que permite hacer la traza a lo largo de los procesos de desarrollo. Además, se identifican los requisitos no funcionales del sistema, es decir, las facilidades que ha de proporcionar el sistema, y las restricciones a que estará sometido, en cuanto a rendimiento, frecuencia de tratamiento, seguridad, entre otros.

### **4.4 Diseño del Sistema de Información (DSI)**

El proceso de Diseño del Sistema de Información (DSI) es de gran importancia, ya que es esta etapa se pretende definir de la arquitectura del sistema y del entorno tecnológico que le va a dar soporte, junto con la especificación detallada de los componentes del sistema de información. A partir de dicha información, se generan todas las especificaciones de construcción relativas al propio sistema, así como la especificación técnica del plan de pruebas, la definición de los requisitos de implantación y el diseño de los procedimientos de migración y carga inicial, éstos últimos cuando proceda.

El diseño de la arquitectura del sistema dependerá en gran medida de las características de la instalación, de modo que se ha de tener en cuenta una participación activa de los responsables de Sistemas y Explotación de las Organizaciones para las que se desarrolla el sistema de información.

Este proceso consta de un primer bloque de actividades, que se realizan en paralelo, y cuyo objetivo es obtener el diseño de detalle del sistema de información que comprende la partición física del sistema de información, independiente de un entorno tecnológico concreto, la organización en subsistemas de diseño, la especificación del entorno tecnológico sobre el que se despliegan dichos subsistemas y la definición de los



requisitos de operación, administración del sistema, seguridad y control de acceso. En el caso de diseño orientado a objetos, conviene señalar que se ha contemplado que el diseño de la persistencia se lleva a cabo sobre bases de datos relacionales.

#### **4.5 Construcción del Sistema de Información (CSI)**

La construcción del Sistema de Información (CSI) tiene como objetivo final la construcción y prueba de los distintos componentes del sistema de información, a partir del conjunto de especificaciones lógicas y físicas del mismo, obtenido en el proceso de Diseño del Sistema de Información (DSI).

Para conseguir dicho objetivo, se recoge la información relativa al producto del diseño, especialmente las especificaciones de construcción del sistema de información, se prepara el entorno de construcción, se genera el código de cada uno de los componentes del sistema de información y se van realizando, a medida que se vaya finalizando la construcción, las pruebas unitarias de cada uno de ellos y las de integración entre subsistemas.

Si fuera necesario realizar una migración de datos, es en este proceso donde se lleva a cabo la construcción de los componentes de migración y procedimientos de migración y carga inicial de datos.

#### **4.6 Estándar de calidad ISO/EIC 12207**

La metodología a emplear en nuestro Trabajo Terminal está basada en el modelo de procesos del ciclo de vida de desarrollo ISO/EIC 12207 que es el estándar para los procesos de ciclo de vida del software de la organización ISO.

El estándar ISO/EIC 12207 tiene como objetivo principal cubrir la vida completa del software, desde la concepción hasta el retiro y no solamente el esfuerzo del desarrollo. De igual forma, pretende que las organizaciones utilicen estos 17 procesos dentro de sus proyectos particulares.

#### **4.7 Estructura**

La estructura del estándar ha sido concebida de manera que pueda ser adaptada a las necesidades de cualquiera que lo use. Para conseguirlo, el estándar se basa en dos principios fundamentales: Modularidad y responsabilidad. Con la modularidad se pretende conseguir procesos con un mínimo acoplamiento y una máxima cohesión. En cuanto a la responsabilidad, se busca establecer un responsable para cada proceso,

facilitando la aplicación del estándar en proyectos en los que pueden existir distintas personas u organizaciones involucradas, no importando el uso que se le dé a este.

## 4.8 Procesos

Los procesos se clasifican en tres tipos: Procesos principales, procesos de soporte y procesos de la organización. Los procesos de soporte y de organización deben existir independientemente de la organización y del proyecto ejecutado. Los procesos principales se instancian de acuerdo con la situación particular.

- Procesos principales.
  - Adquisición.
  - Suministro.
  - Desarrollo.
  - Operación.
  - Mantenimiento.
  
- Procesos de soporte.
  - Documentación
  - Gestión de la configuración.
  - Aseguramiento de calidad.
  - Verificación.
  - Validación.
  - Revisión conjunta.
  - Auditoría.
  - Resolución de problemas.
  
- Procesos de la organización.
  - Gestión.
  - Infraestructura.
  - Mejora.
  - Recursos Humanos.

Es importante aclarar que dicho estándar no especifica los detalles de cómo implementar o llevar a cabo las actividades o tareas incluidas en los procesos del Trabajo Terminal.

## Capítulo 5. Planificación del Sistema de Información

En el capítulo se muestra un diagrama de Gantt que representa el tiempo en actividades y procesos del proyecto. Cabe aclarar que es un diagrama general (incluye las actividades de los tres integrantes) y se divide principalmente en dos partes: la primer entrega del proyecto que corresponde a Trabajo Terminal I y la segunda correspondiente a Trabajo Terminal II. En este cronograma se excluyen las etapas de Implementación y Monitoreo como se mencionó en el capítulo 4.

| Actividad  | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>Planificación del sistema de información(PSI)</b>   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Inicio del plan del sistema de información             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Definición y organización del sistema de información   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Desarrollo del sistema de información</b>           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>Estudio de viabilidad del sistema(EVS)</b>          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Establecimiento del alcance del sistema de información |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Estudio de la situación actual                         |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Definición del requerimientos del sistema              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Descripción de alternativas de solución                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Valoración de alternativas                             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Selección del alternativas de solución                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <b>Análisis del sistema de información (ASI)</b>     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Definición del sistema                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Establecimiento de requerimientos                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Análisis de casos de uso                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Análisis de clases                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Elaboración del modelo conceptual de datos           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Definición de las interfaces de usuario              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Diseño del sistema de información(DSI)</b>        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Definición de la arquitectura del sistema            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Diseño de clases                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Diseño de la realización de los casos de uso         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Diseño físico de los datos                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Evaluación de TT1</b>                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <b>Construcción del sistema de información (CSI)</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Generación de código                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Cargar archivos en el servidor                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Realizar interfaces de sistema   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |
| Pruebas del sistema              |   |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ |   |   |
| Elaboración de manual de usuario |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |
| Elaboración de manual técnico    | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |
| <b>Evaluación de TT2</b>         |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ |

*Tabla 5.1 Cronograma general de actividades.*

## Capítulo 6. Estudio de viabilidad del sistema

Este capítulo analiza las necesidades del sistema para proponer una solución a corto plazo. Aunado a esto, se presentan las herramientas a utilizar y la justificación de estas.

### 6.1 Establecimiento del alcance del sistema

El sistema a desarrollar estará basado en un modelo asociativo, el cual ayudará a hacer una predicción en un rango de tiempo, determinando los niveles de contaminación atmosférica.

A partir de este punto, el sistema a desarrollar será llamado “SIPRAT” por sus siglas

#### 6.1.1 Estudio de solicitud

El sistema constará de tres módulos principales: aprendizaje, clasificación y muestra de resultados (gráficas y reportes) para la clasificación de nivel de contaminante, y de dos módulos para la gestión de usuarios y bases de datos respectivamente.

El módulo de aprendizaje leerá la información almacenada en un repositorio de datos.

El módulo de clasificación analizará los datos recibidos del módulo de aprendizaje delimitado en un rango de tiempo.

El sistema será capaz de mostrar los resultados de manera gráfica.

El sistema será capaz de gestionar usuarios y bases de datos de información

#### 6.1.2 Alcance del sistema

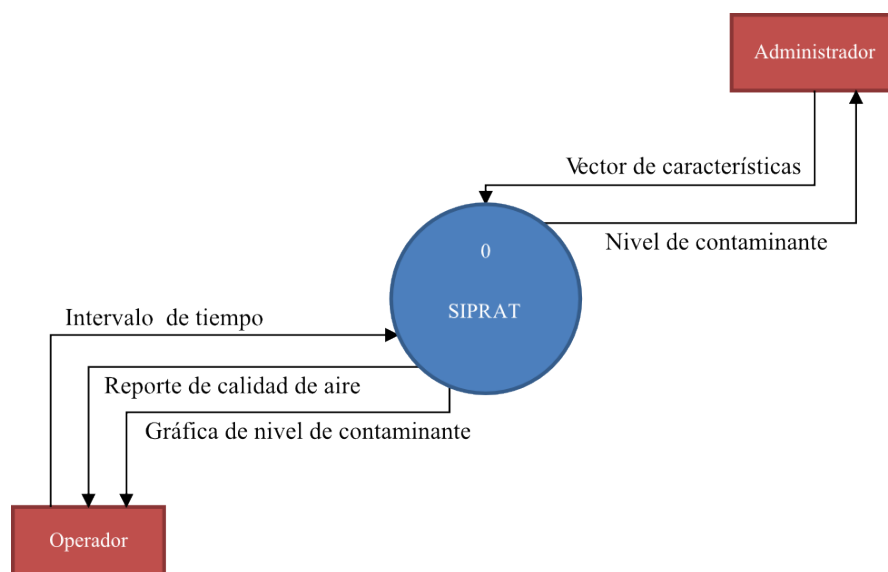
Desarrollar un sistema capaz de predecir el comportamiento de los niveles de contaminantes atmosféricos en un rango determinado de tiempo, mediante la utilización de modelos asociativos. Adicionalmente, se presentará la comparación del modelo implementado con respecto a otros algoritmos y modelos estudiados.

#### 6.1.3 Diagrama de contexto

El siguiente diagrama muestra la composición del sistema con base a los módulos que lo integran.

- **Aprendizaje.** Es el modulo encargado de la lectura de datos que se encuentran almacenados en un repositorio para el entrenamiento del modelo asociativo.

- **Clasificación.** Una vez completada la etapa de aprendizaje se procede a realizar la predicción con base en un rango de tiempo determinado por el usuario.
- **Despliegue de resultados.** Modulo encargado de graficar los niveles de contaminación predichos en la etapa de clasificación, además, presentará el reporte asociado a éste.
- **Gestión de Usuarios.** Brinda opciones para la gestión de usuarios, agregar, modificar, eliminar, así como el inicio de sesión de usuarios en el sistema
- **Gestión de Bases de Datos.** Brinda opciones para la gestión de la Base de Datos.



*Figura 6.1 Diagrama de Contexto*

## 6.2 Estudio de la situación actual

El presente capítulo muestra el entorno en el cual se desarrollará el proyecto. Se hace referencia al capítulo 2 del documento.

## 6.3 Definición de requerimientos del sistema

Se definen a continuación las características fundamentales que el sistema debe cubrir para lograr los objetivos planteados.

### 6.3.1 Requerimientos básicos del sistema

El sistema presenta requisitos que por definición deben ser cumplidos en su totalidad. Los requisitos básicos del sistema se describen en la tabla 6.1

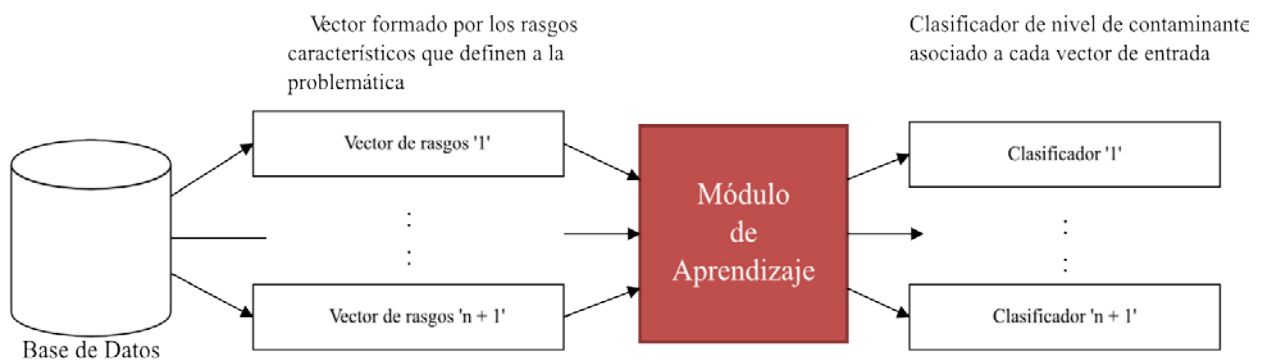
| ID  | Descripción   | Origen            |
|-----|---|-------------------|
| RB1 | Hacer una predicción del comportamiento de los niveles en contaminantes atmosféricos..  | Objetivo general. |
| RB2 | Elegir e implementar un modelo asociativo que se adapte a las necesidades del proyecto. | Objetivo general. |
| RB3 | Desarrollar una aplicación de escritorio  | Objetivo general. |

Tabla 6.1 Requisitos básicos del sistema

### 6.3.2 Descomposición inicial de sistema en subsistemas

A continuación, se muestra la composición del sistema con base a los módulos que lo integran.

- **Aprendizaje.** Es el módulo encargado de la lectura de datos que se encuentran almacenados en un repositorio para el entrenamiento del modelo asociativo.



Contiene el histórico de datos, correspondiente a los niveles de contaminación atmosférica por zonas

Figura 6.2 Módulo de Aprendizaje



- **Clasificación.** Una vez completada la etapa de aprendizaje se procede a realizar la predicción con base en un rango de tiempo determinado por el usuario.

Vector formado por los rasgos característicos que definen a la problemática, el cual tiene asociado un nivel de contaminante desconocido

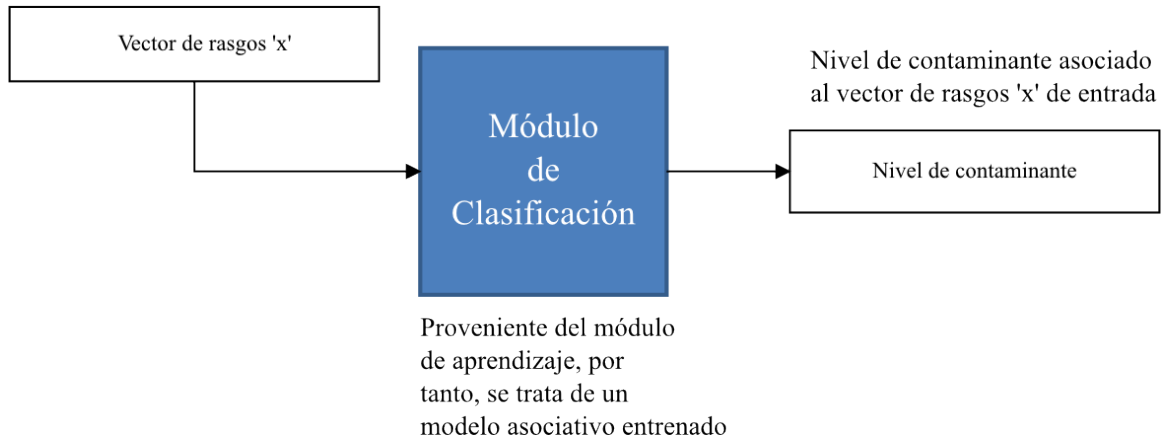


Figura 6.3 Módulo de Clasificación

- **Despliegue de resultados.** Módulo encargado de graficar los niveles de contaminación predichos en la etapa de clasificación, además, presentará el reporte asociado a éste.

Nivel(es) de contaminante proveniente de la etapa de clasificación, acotados en un intervalo de tiempo específico

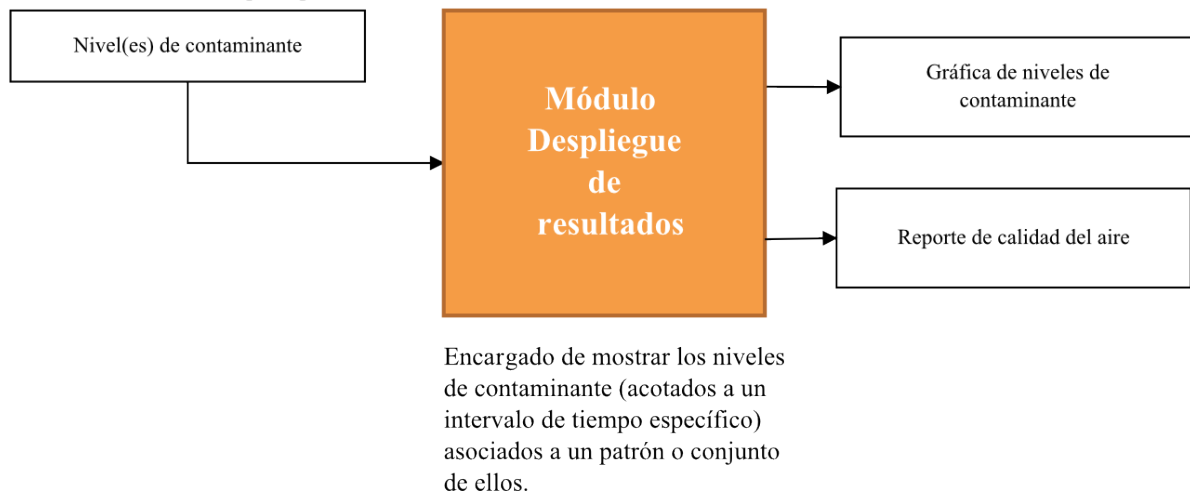


Figura 6.4 Módulo Despliegue de resultados

- **Gestión de Usuarios.** Módulo encargado brindar opciones para la gestión de usuarios, agregar, modificar, eliminar, así como el inicio de sesión de usuarios en el sistema.

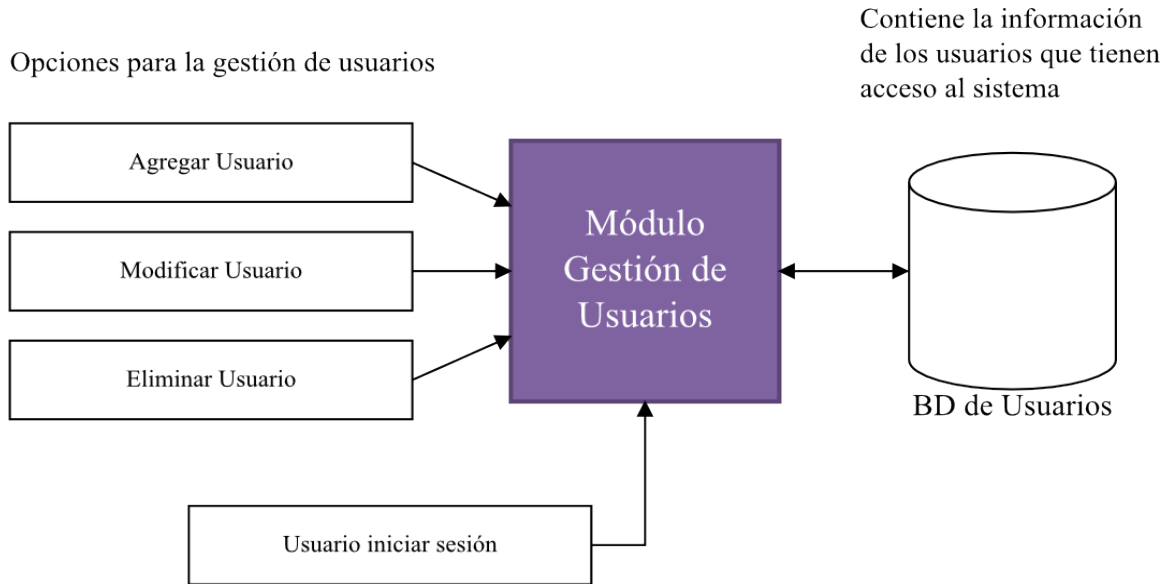


Figura 6.5 Módulo Gestión de Usuarios

- **Gestión de Bases de Datos.** Módulo encargado de brindar opciones para la gestión de la Base de Datos asociada al módulo de aprendizaje y el de clasificación, dichas opciones son: cargar repositorio, restaurar BD, eliminar BD, restaurar clasificador y eliminar clasificador.

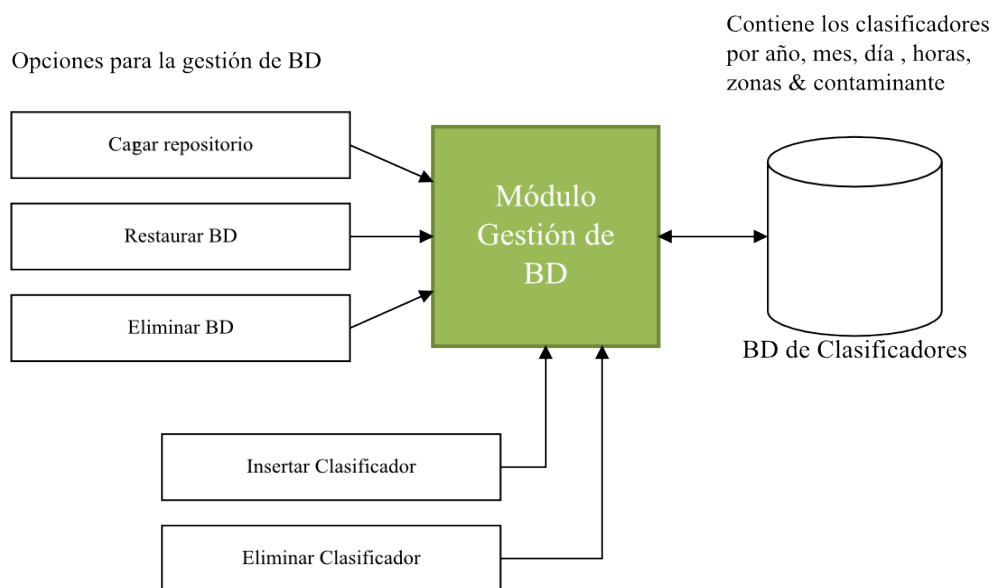


Figura 6.6 Módulo Gestión de Bases de Datos

### 6.3.3 Modelo de Procesos

A continuación se presenta la interacción entre módulos, componentes y usuarios del sistema.

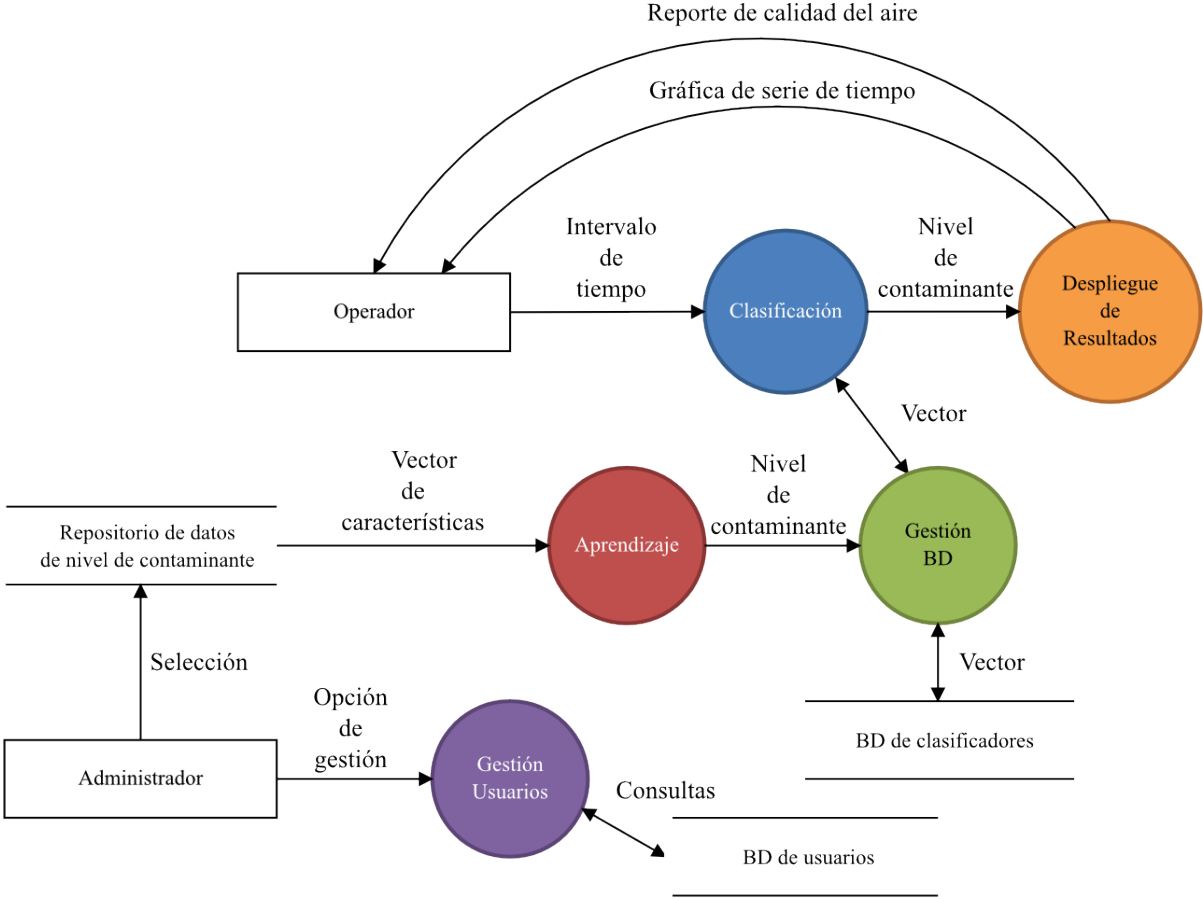


Figura 6.6 Modelo de Procesos

## 6.4 Descripción de alternativas de solución

En esta sección se presentará el estudio de los diferentes Sistemas Operativos, Lenguajes de Programación, Entornos de Desarrollo y otras herramientas que nos servirán en la implementación del sistema.

### 6.4.1 Sistema Operativo

#### 6.4.1.1 Windows

Microsoft Windows es el nombre de una familia de sistemas operativos desarrollados y distribuidos por Microsoft. Microsoft introdujo un entorno operativo denominado *Windows* el 25 de noviembre de 1985 como un complemento para *MS-DOS* en respuesta al creciente interés en las interfaces gráficas de usuario (GUI). Microsoft Windows llegó a dominar el mercado mundial de computadoras personales, con más del 90% de la cuota de mercado, superando a Mac OS, que había sido introducido en 1984.

*Windows* es un sistema operativo basado en ventanas. La primera versión se lanzó en 1990 y comenzó a utilizarse de forma generalizada gracias a su interfaz gráfica de usuario (GUI, Graphical User Interface). Hasta ese momento, el sistema operativo más extendido era MS-DOS (Microsoft Disk Operating System), y la interfaz consistía línea de comandos.

Las versiones más recientes de *Windows* son *Windows 8* para equipos de escritorio, *Windows Server 2012* para servidores y *Windows Phone 8* para dispositivos móviles.

#### 6.4.1.2 Linux

Linux es un sistema operativo gratuito y de libre distribución inspirado en un sistema operativo gratuito y de libre distribución inspirado en el sistema Unix, escrito por Linus Torvalds con la ayuda de miles de programadores en Internet. Unix es un sistema operativo desarrollado en 1970, una de cuyas mayores ventajas es que es fácilmente portable a diferentes tipos de ordenadores, desde PC y Mac hasta estaciones de trabajo y supercomputadoras. Al contrario de otros sistemas operativos, Unix no está pensado para ser fácil de emplear, sino para ser sumamente flexible. Por lo tanto Linux no es en general tan sencillo de emplear como otros sistemas operativos, aunque, se están realizando grandes esfuerzos para facilitar su uso. Pese a todo la enorme flexibilidad de Linux y su gran estabilidad han hecho de este sistema operativo una opción muy a tener en cuenta por aquellos usuarios dedicados a la computación.

### 6.4.1.2.1 Distribuciones

Las distribuciones son agrupamientos del núcleo del sistema operativo Linux y otra serie de aplicaciones de uso general o no tan general. En principio las empresas que desarrollan las distribuciones de Linux están en su derecho al cobrar cierta cantidad por el software que ofrecen, aunque en la mayor parte de las ocasiones se pueden conseguir estas distribuciones desde Internet, siendo todas estas formas gratuitas y legales. [28]

En la Tabla 6.5 se muestran las principales distribuciones de Linux.

| Distribución  | Descripción  |
|---------------|--|
| <b>Ubuntu</b> | Distribución basada en Debian, con lo que esto conllevara y centrada en el usuario final y facilidad de uso. Muy popular y con mucho soporte en la comunidad.  |
| <b>RedHat</b> | Esta es una distribución que tiene muy buena calidad, contenidos y soporte a los usuarios por parte de la empresa que la distribuye. Es necesario el pago de una licencia de soporte. Enfocada a empresas, |
| <b>Fedora</b> | Esta es una distribución patrocinada por RedHat y soportada por la comunidad. Fácil de instalar y buena calidad.   |
| <b>Debian</b> | Otra distribución con muy buena calidad. El proceso de instalación es quizás más complicado pero sin mayores problemas. Gran estabilidad antes que los últimos avances.                                    |

*Tabla 6.2 Principales distribuciones de Linux*

### 6.4.1.3 Mac OS

Mac OS es el nombre del sistema operativo creado por Apple para su línea de computadoras Macintosh. Es conocido por haber sido uno de los primeros sistemas dirigidos al gran público en contar con una interfaz gráfica compuesta por la interacción del mouse con ventanas, Icono y menús.

Deliberada a la existencia del sistema operativo en los primeros años de su línea Macintosh en favor de que la máquina resultara más agradable al usuario, diferenciándolo de otros sistemas contemporáneos, como MS-DOS, que eran un desafío técnico. El equipo de desarrollo del Mac OS original incluía a Bill Atkinson, Jef Raskin y Andy Hertzfeld.

Esta fue la base del Mac OS clásico, desarrollado íntegramente por Apple, cuya primera versión vio la luz en 1978. Su desarrollo se extendería hasta la versión 9 del sistema,

lanzada en 1999. A partir de la versión 10 (Mac OS X), el sistema cambio su arquitectura totalmente y pasó a basarse en Unix, sin embargo su interfaz gráfica mantiene muchos elementos de las versiones anteriores. [29]

## 6.4.2 Lenguaje de Programación

### 6.4.2.1 C# (C Sharp)

C# es un lenguaje simple, moderno y orientado a objetos. C# tiene sus raíces en la familia de lenguajes C y esta inmediatamente familiarizado a los lenguajes C, C++ y Java. C# es estandarizada por ECMA Internacional con el estándar ECMA-334 y por la norma ISO-IEC con el estándar ISO-IEC23270. C# provee un compilador para el *framework* .NET que conjunta ambos estándares.

C# es un lenguaje orientado a objetos, pero C# incluye soporte para programación orientado a componentes. El diseño de software contemporáneo se basa cada vez más en los componentes de software en forma de paquetes independientes y auto-descriptos de la funcionalidad. La clave para cada componente es que ellos presentan un modelo de programación con propiedades, métodos y eventos; que tienen atributos que proporcionan información declarativa acerca del componente; e incorporar su propia documentación.

C# proporciona construcciones del lenguaje para apoyar directamente estos conceptos, por lo que C# un lenguaje muy natural para crear y utilizar componentes de software.

Diversas características de C# ofrecen ayuda en la construcción de aplicaciones robustas y duraderas: La recolección de basura recupera automáticamente la memoria ocupada por los objetos no utilizados, el manejo de excepciones proporciona un enfoque estructurado y extensible para la detección de errores y recuperación, y el diseño de seguridad de tipos del lenguaje hace imposible leer variables sin inicializar para inicializar arreglos de índices más allá de sus límites, o para realizar conversiones de tipo sin control.

C# tiene un sistema de tipo unificado. Todos los tipos de C#, incluidos tipos primitivos tales como *int* y *double*, heredan de una sola raíz tipo de objeto. Por lo tanto, todos los tipos comparten un conjunto de operaciones comunes y valores que cualquier tipo puede almacenar. Por otra parte, C# admite tipos de referencia definidos por el usuario y tipos de valor, lo que permite la asignación dinámica de los objetos así como almacenamiento de lineal de las estructuras de peso ligero.

Para asegurarse de que los programas y las bibliotecas de C# pueden evolucionar a lo largo del tiempo de una manera compatible, ha sido puesto mucho énfasis en control de versiones en los diseños de C#. Muchos lenguajes de programación prestan poca atención a este tema y, como resultado, los programas escritos en esos idiomas se rompen con más frecuencia de la necesaria cuando se introducen nuevas versiones en las bibliotecas dependientes. [30]

En la figura 6.5 podemos observar la evolución de .NET, *framework* usado por C#.

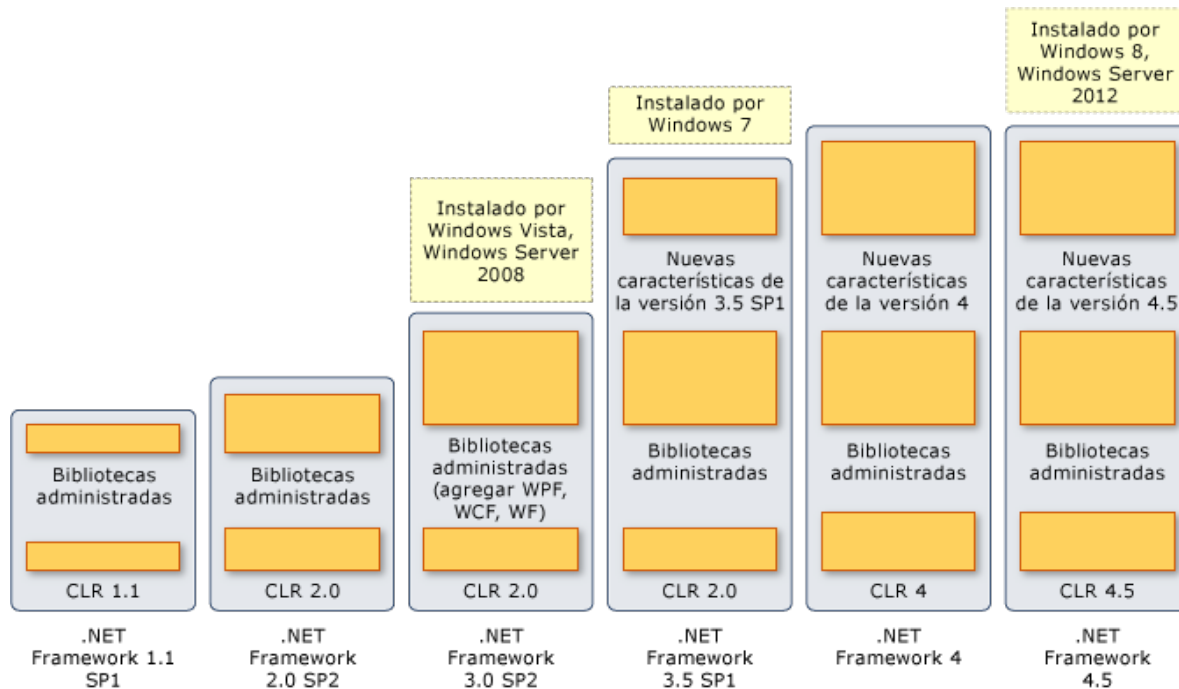


Figura 6.5 Evolución del framework .NET

### 6.4.2.2 Java

El lenguaje de programación Java fue originalmente desarrollado por James Gosling de *Sun Microsystems* (la cual fue adquirida por la compañía *Oracle*) y publicado en el 1995 como un componente fundamental de la plataforma Java de *Sun Microsystems*. Su sintaxis deriva mucho de C y C++, pero tiene menos facilidades de bajo nivel que cualquiera de ellos. Las aplicaciones de Java son generalmente compiladas a *bytecode* (clase Java) que puede ejecutarse en cualquier máquina virtual Java (JVM) sin importar la arquitectura de la computadora subyacente.

Java es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, orientado a objetos y basado en clases que fue diseñado específicamente para tener tan pocas dependencias de implementación como fuera posible. Su intención es permitir que los desarrolladores de aplicaciones escriban el programa una vez y lo ejecuten en cualquier dispositivo (conocido en inglés como *WORA*, o "*write once, run anywhere*"), lo que quiere decir que el código que es ejecutado en una plataforma no tiene que ser recompilado para correr en otra.

Java es, a partir del 2012, uno de los lenguajes de programación más populares en uso, particularmente para aplicaciones de cliente-servidor de web, con unos 10 millones de usuarios reportados.

La compañía Sun desarrolló la implementación de referencia original para los compiladores de Java, máquinas virtuales, y librerías de clases en 1991 y las publicó por

primera vez en el 1995. A partir de mayo del 2007, en cumplimiento con las especificaciones del Proceso de la Comunidad Java, *Sun* volvió a licenciar la mayoría de sus tecnologías de Java bajo la Licencia Pública General de GNU. Otros también han desarrollado implementaciones alternas a estas tecnologías de *Sun*, tales como el Compilador de Java de GNU y el GNU *Classpath*. [31]

### 6.4.2.3 C++

C++ es un lenguaje de programación diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al exitoso lenguaje de programación C con mecanismos que permitan la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, el C++ es un lenguaje híbrido.

Posteriormente se añadieron facilidades de programación genérica, que se sumó a los otros dos paradigmas que ya estaban admitidos (programación estructurada y la programación orientada a objetos). Por esto se suele decir que el C++ es un lenguaje de programación multiparadigma.

Actualmente existe un estándar, denominado ISO C++, al que se han adherido la mayoría de los fabricantes de compiladores más modernos. Existen también algunos intérpretes, tales como ROOT.

Una particularidad del C++ es la posibilidad de redefinir los operadores, y de poder crear nuevos tipos que se comporten como tipos fundamentales.

El nombre C++ fue propuesto por Rick Mascitti en el año 1983, cuando el lenguaje fue utilizado por primera vez fuera de un laboratorio científico. Antes se había usado el nombre "C con clases". En C++, la expresión "C++" significa "incremento de C" y se refiere a que C++ es una extensión de C. [32]

## 6.4.3 Gestor de Base de Datos

### 6.4.3.1 PostgreSQL

*PostgreSQL* es un sistema de gestión de base de datos objeto - relacional que se ha desarrollado en distintas formas desde 1977. Comenzó como un proyecto denominado *Ingres* en la Universidad de California en Berkeley. *Ingres* fue más tarde desarrollado comercialmente por *Relational Technologies/Ingres Corporation*.

En 1986, otro equipo dirigido por Michael Stonebraker de Berkeley continuó el desarrollo del código de *Ingres* para crear un sistema de bases de datos objeto - relacional llamado *Postgres*. En 1996, debido a un nuevo esfuerzo de código abierto y la funcionalidad mejorada del software, *Postgres* fue renombrado como *PostgreSQL*, después de un breve



período como *Postgres95* . El proyecto *PostgreSQL* está todavía en desarrollo muy activo en todo el mundo de un equipo de desarrolladores y contribuidores de código abierto.

*PostgreSQL* es ampliamente considerado como el sistema de base de datos de código abierto más avanzada del mundo. [33]

#### 6.4.3.2 MySQL

MySQL es un sistema gestor de bases de datos muy conocido y ampliamente usado por su simplicidad y notable rendimiento. Aunque carece de algunas características avanzadas disponibles en otros Sistemas Gestores de Bases de Datos del mercado, es una opción atractiva tanto para aplicaciones comerciales, como de entretenimiento precisamente por su facilidad de uso y tiempo reducido de puesta en marcha. Esto y su libre distribución en Internet bajo licencia GPL le otorgan como beneficios adicionales contar con un alto grado de estabilidad y un rápido desarrollo. [34]

MySQL surgió alrededor de la década del 90, Michael Widenis comenzó a usar mSQL para conectar tablas usando sus propias rutinas de bajo nivel. Tras unas primeras pruebas, llegó a la conclusión de que mSQL no era lo bastante flexible ni rápido para lo que necesitaba, por lo que tuvo que desarrollar nuevas funciones. Esto resultó en una interfaz SQL a su base de datos, totalmente compatible a mSQL.

El origen del nombre MySQL no se sabe con certeza de donde proviene, por un lado se dice que en sus librerías han llevado el prefijo “my” durante los diez últimos años, por otra parte, la hija de uno de los desarrolladores se llama My. Así que no está claramente definido cuál de estas dos dio lugar al nombre del que hoy en día es uno de los Gestores de Bases de Datos más reconocidos. [35]

#### 6.4.3.3 SQLite

**SQLite** es un sistema de gestión de bases de datos relacional compatible con ACID, contenida en una relativamente pequeña (~275 kiB) biblioteca escrita en C. SQLite es un proyecto de dominio público creado por D. Richard Hipp.

A diferencia de los sistemas de gestión de bases de datos cliente-servidor, el motor de SQLite no es un proceso independiente con el que el programa principal se comunica. En lugar de eso, la biblioteca SQLite se enlaza con el programa pasando a ser parte integral del mismo. El programa utiliza la funcionalidad de SQLite a través de llamadas simples a subrutinas y funciones. Esto reduce la latencia en el acceso a la base de datos, debido a que las llamadas a funciones son más eficientes que la comunicación entre procesos. El conjunto de la base de datos (definiciones, tablas, índices, y los propios datos), son guardados como un sólo fichero estándar en la máquina host. Este diseño simple se logra bloqueando todo el fichero de base de datos al principio de cada transacción.

SQLite permite bases de datos de hasta 2 Terabytes de tamaño, y también permite la inclusión de campos tipo BLOB<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> BLOB: Tipo de dato binario.

## 6.5 Valoración de alternativas

En este apartado se hace una evaluación de las características de las alternativas anteriormente propuestas. Primeramente en la Tabla 6.3 se valorarán los sistemas operativos propuestos para posteriormente pasar a los lenguajes de programación en la tabla 6.4 de la siguiente sección.

### 6.5.1 Costos

| Sistema Operativo              | Windows  | Linux                                  | Mac OS   |
|--------------------------------|--|--|--|
| Costo                          | <b>7:</b> \$1800 - \$3200<br><b>Vista:</b> \$2705 - \$3994<br><b>XP:</b> \$2900 <sup>7</sup> | Gratis                                 | <b>10.6 Snow Leopard:</b><br>\$129<br><b>10.7 Lion:</b> \$29.99 <sup>8</sup> |
| Licencia                       | No libre   | GPL                                    | No libre   |
| Kernel                         | Híbrido  | Monolítico                             | Match (Microkernel)  |
| Arquitectura de Procesador     | Intel x86. X86-64, IA64  | Intel x86, x86-64, PowerPC             | Intel x86, x86-64, PowerPC   |
| Sistema de archivos soportados | NTFS, FAT32  | ext3, ext4, JFS, XFS, NTFS, FAT, FAT32 | HFS+/UFS   |
| Multithreading                 | Sí   | Sí                                     | Sí   |
| Procesamiento concurrente      | Sí   | Sí                                     | Sí   |

Tabla 6.3 Valoración de Sistemas Operativos

A continuación se describen los aspectos más importantes de cada lenguaje de programación, considerado los rasgos que se proponen con mayor importancia o peso.

| Lenguaje de Programación        | Java                      | C++                                    | C#                                     |
|---------------------------------|---------------------------|--|--|
| Paradigma                       | Orientado a Objetos       |  |  |
| Interpretado/Compilado          | Interpretado              | Compilado                              |  |
| Manipulación Directa de memoria | No                        | Sí                                     |  |
| Paso de argumentos              | Por valor, por referencia | Por valor, por puntero, por referencia | Por valor, por referencia, indefinido. |

<sup>7</sup> Precios en pesos mexicanos (MXN)

<sup>8</sup> Precios en dólar (US)

|                                |                         |                         |                         |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Manejo de errores              | Robusto                 | Robusto                 | Robusto                 |
| Manejo de Excepciones          | Sí                      | No                      | Sí                      |
| Despliegue de Interfaz gráfica | API implementada        | Se necesita agregar API | API Implementada        |
| Multithreading                 | Embebido en el lenguaje | Dependiente del Sistema | Embebido en el lenguaje |

Tabla 6.4 Valoración de los lenguajes de programación

En la tabla 6.5 valoramos las características principales que se buscan cumplir para el Sistema Gestor de Base de Datos del proyecto, ya que los tres propuestos tienen licencia libre.

| SGBD       | ACID                 | Integridad referencial | Transacciones        | Unicode |
|------------|----------------------|------------------------|----------------------|---------|
| MySQL      | Depende <sup>9</sup> | Depende <sup>9</sup>   | Depende <sup>9</sup> | Si      |
| PostgreSQL | Si                   | Si                     | Si                   | Si      |
| SQLite     | Si                   | No <sup>10</sup>       | Básico <sup>10</sup> | Si      |

Tabla 6.5 Valoración de Sistemas Gestores de Base de Datos

### 6.5.2 Análisis de Riesgos

El proyecto presenta riesgos que pueden comprometer tanto al objetivo general como a los objetivos específicos. Estos riesgos pueden ser directamente reflejados en el desarrollo del proyecto o en la entrega ideal del producto. En la Tabla 6.5 se describen de una forma general los principales riesgos que pueden interferir en nuestro proyecto de investigación.

| ID        | Riesgo                         | Tipo     | Porcentaje | Descripción   |
|-----------|--------------------------------|----------|------------|---|
| R1-SIPRAT | Rotación del equipo de trabajo | Proyecto | 30%        | Un miembro del equipo de trabajo abandona el proyecto antes de que este finalice. |

<sup>9</sup> Para las transacciones y la integridad referencial, el tipo de tablas *InnoDB* debe ser usado; el tipo de tabla usado por defecto, *MyISAM*, no soporta estas características. Sin embargo, inclusive el tipo de tablas *InnoDB* permite el almacenamiento de valores que excedan el rango de datos; algunas vistas violan la limitación de ACID.

<sup>10</sup> Las limitaciones de *CHECK* y *FOREIGN KEY* son analizadas pero no forzadas. Transacciones anidadas no son soportadas.

|           |                               |          |     |   |
|-----------|-------------------------------|----------|-----|---|
| R2-SIPRAT | Cambión de Dirección.         | Proyecto | 35% | Se realiza un cambio en los directores del proyecto. La nueva gestión viene con nuevos objetivos. |
| R3-SIPRAT | Cambios en los requerimientos | Proyecto | 50% | Se presentan cambios significativos de manera constante en los requerimientos del sistema.        |
| R4-SIPRAT | Subestimación del tamaño      | Proyecto | 30% | Se ha subestimado el tamaño del proyecto.   |
| R5-SIPRAT | Competencia del algoritmo     | Producto | 55% | El algoritmo de la memoria asociativa a utilizar queda obsoleto.                                  |

Tabla 6.6 Tabla de análisis de riesgos

Se presenta una hoja de información de riesgo la cual contiene información puntual que describe los dos riesgos que están relacionados a una mayor ponderación en la tabla 6.6. Presenta un plan de contingencia en caso del que el sistema entre en alguno de los dos casos ya mencionados.

| Hoja de información de riesgo   |            |                   |                  |
|---|------------|-------------------|------------------|
| <b>R3-SIPRAT</b>  | 18/09/2013 | Probabilidad: 50% | Impacto: Critico |
| <b>Riesgo:</b><br><b>Cambios en los requerimientos.</b>   |            |                   |                  |
| <b>Contexto:</b><br><b>Dada una instancia en donde alguno de los directores decida cambiar por completo la especificación de algún modulo del sistema y como consecuencia se tenga una modificación sustancial en los demás componentes.</b>  |            |                   |                  |
| <b>Reducción/Supervisión:</b><br><b>Establecer las condiciones correctas para la recolección y establecimiento de requisitos.</b>   |            |                   |                  |
| <b>Gestión/Plan de Contingencia:</b><br><b>En cada reunión con los directores del proyecto, firmar un documento que avale el consentimiento de los alumnos y de los mismos directores en el cual se contemplen los objetivos a cumplir acorde al establecimiento de los requisitos.</b> |            |                   |                  |

Estado Actual 25/09/2013:

**Se desarrolla un documento plantilla para detallar los requisitos a cumplir.**

Autor: **Nava Vargas Antonio de Jesús**

**Asignado:** Jiménez Castañón Carlos Alfredo

*Tabla 6.7 Riesgo Cambio en los Requerimientos*

| Hoja de información de riesgo  |            |   |                  |
|--|------------|---|------------------|
| <b>R5-SIPRAT</b>   | 18/09/2013 | Probabilidad: 55%                           | Impacto: Critico |
| Riesgo:<br><b>Competencia del algoritmo.</b>   |            |   |                  |
| Contexto:<br><b>El algoritmo seleccionado no cumple con el porcentaje aceptado de efectividad.</b>   |            |   |                  |
| Reducción/Supervisión:<br><b>Establecer el porcentaje aceptado de efectividad para selección e implementación del algoritmo.</b>   |            |   |                  |
| Gestión/Plan de Contingencia:<br><b>Mediante el análisis de algoritmos empleados en proyectos similares, determinar si alguno de ellos cumple con las características para adaptarlo al proyecto y de igual forma establecer el porcentaje de efectividad que este debe cumplir.</b> |            |   |                  |
| Estado Actual 25/09/2013:<br><b>Se lleva a cabo el monitoreo de algoritmos empleados en proyectos similares.</b>   |            |   |                  |
| Autor: <b>Nava Vargas Antonio de Jesús</b>   |            | <b>Asignado:</b> Ramírez Guevara Luis Ángel |                  |

*Tabla 6.8 Riesgo Competencia del Algoritmo*

## 6.6 Selección de alternativas de solución

Con base al estudio y evaluación hechos anteriormente, se ha elegido como sistema operativo a utilizar *Windows* en su versión 7. Esta decisión está estrechamente relacionada al lenguaje de programación elegido para desarrollar el sistema. Cabe aclarar que se buscó un lenguaje de programación que presentara características particulares en beneficio al sistema como la velocidad de ejecución, ya que es un sistema que realizará un procesamiento de información a un número considerable de datos. Esto queda traducido en que se le dio una mayor preferencia a los lenguajes que son **compilados y no interpretados**, ya que estos últimos cuentan con la gran desventaja de ser interpretados línea a línea y que se ve reflejado en su velocidad de ejecución la cuales mucho menor frente a un programa que ha sido compilado. Otro aspecto relevante es la facilidad de la implementación de Interfaces gráficas al sistema, ya que el este, al tener contacto con personas no expertas en áreas computacionales y desplegar datos de compleja interpretación, presenta significativa importancia en vistas gráficas, agradables e intuitivas.

Teniendo en cuenta las características anteriores hemos seleccionado como lenguaje de desarrollo a *C#*, ya que este lenguaje tiene la ventaja de ser compilado, tener un manejo robusto de errores, contar con el manejo de excepciones y tener una API dirigida al despliegue de interfaz gráfica.

La relación que presentan estas dos elecciones es la *Suite* de desarrollo que se recomienda para el lenguaje de programación seleccionado. Esta *Suite* es Visual Studio 2012 que fue desarrollada por Microsoft y no presenta complicaciones en los sistemas operativos de esta misma compañía. Tiene soporte con todas las versiones del *framework* .NET, incluyendo la que se utilizará en el proyecto, la versión 4.0.

| Tipo                           | Alternativa elegida |
|--------------------------------|---------------------|
| Sistema Operativo              | Windows 7           |
| Lenguaje de Programación       | C# (C Sharp)        |
| Sistema Gestor de Base de Dato | PostgreSQL          |
| <i>Suite</i> de Desarrollo     | Visual Studio 2012  |

Tabla 6.9 Selección de Alternativas

## Capítulo 7. Análisis

Este capítulo describe las características y requerimientos que el sistema tendrá a nivel de programación. Se describen los principales diagramas para el proceso diseño del proyecto.

### 7.1 Definición del sistema

Se definen las tareas que el sistema dará soporte a los diferentes tipos de usuario que harán uso de éste.

#### 7.1.1 Identificación de los usuarios participantes y finales

| Usuario       | Rol  |
|---------------|--|
| Operador      | La única función de este usuario es hacer consultas de predicción de niveles de contaminación atmosférica.   |
| Administrador | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Es el encargado de gestionar los repositorios de datos.</li><li>2. Ejecuta el módulo de aprendizaje del sistema.</li><li>3. Gestionar usuarios del sistema.</li></ol> |

*Tabla 7.1 Usuarios del sistema*



### 7.1.2 Determinación y alcances del sistema

En la figura 7.1 se muestra la interacción entre los usuarios descritos en el punto anterior y su relación con los módulos del sistema.

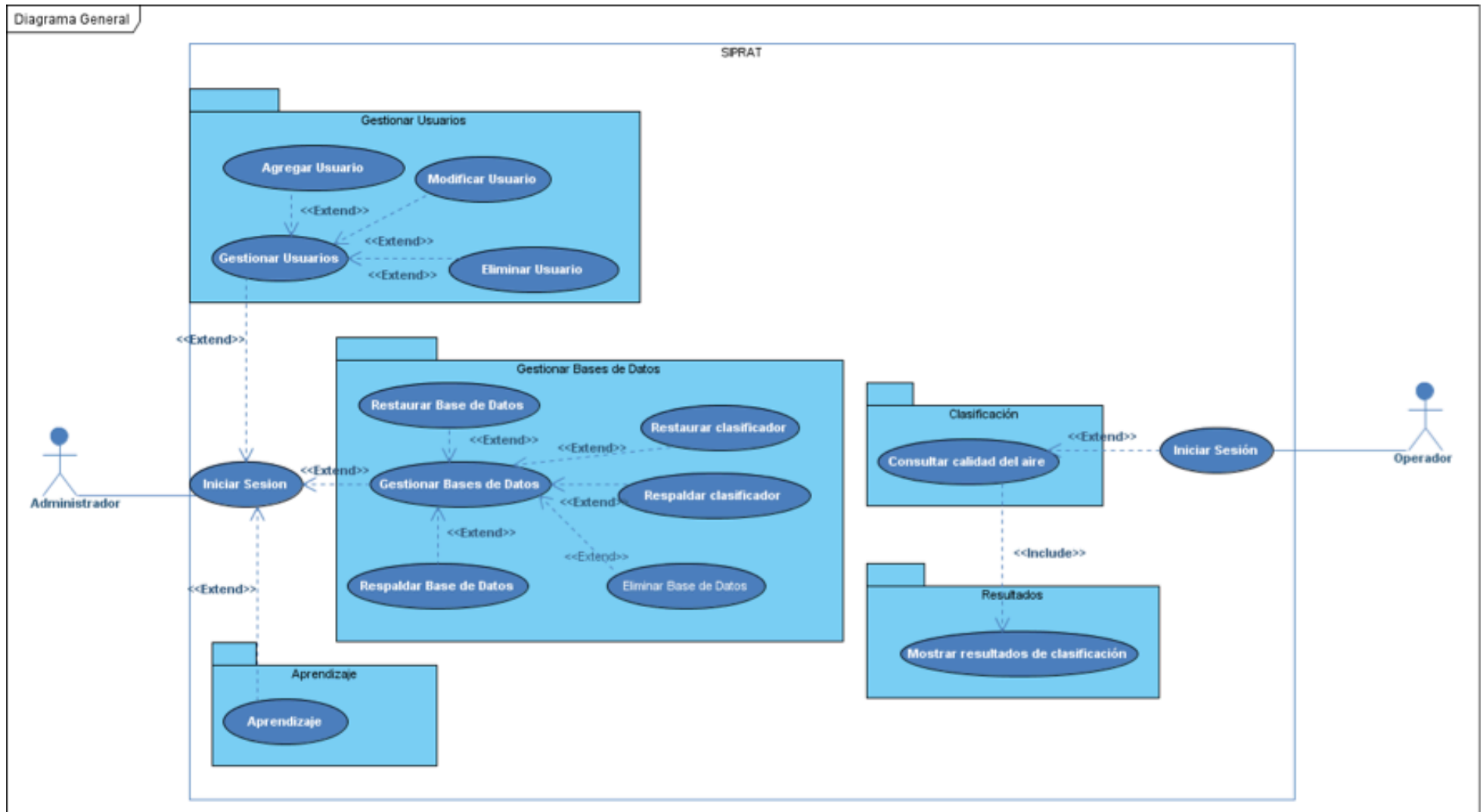


Figura 7.1 Relación general Usuario-Sistema

## 7.2 Definición de requerimientos del sistema

El sistema deberá cubrir ciertas especificaciones al final del proyecto. Estas especificaciones pueden ser técnicas o de atributos de calidad. Ambas se describen tanto en la Tabla 7.1 de requisitos funcionales y en la Tabla 7.2 de requisitos no funcionales, respectivamente.

| Requerimiento | Descripción   | Prioridad  | Origen   |
|---------------|---|------------|----------|
| RF1           | El módulo de aprendizaje leerá la información almacenada en un repositorio de datos.                                    | Mandatorio | RB1      |
| RF2           | El módulo de clasificación analizará los datos recibidos del módulo de aprendizaje delimitado en un rango de tiempo.    | Mandatorio | RB1      |
| RF3           | El sistema hará uso de un modelo asociativo para predecir el nivel de contaminantes atmosféricos en un rango de tiempo. | Mandatorio | RB2, RB3 |
| RF4           | El sistema almacenará los clasificadores resultantes de la fase de aprendizaje en el intervalo de tiempo.               | Mandatorio | RB2      |
| RF5           | El aprendizaje se hará en intervalos de tiempo de años, meses, días y horas.  | Mandatorio | RB2      |

Tabla 7.2 Requisitos funcionales

| Requerimiento | Descripción  | Prioridad  | Origen                |
|---------------|--|------------|-----------------------|
| RNF1          | El sistema contará con una interfaz gráfica que permita la interacción del sistema con los usuarios definidos                | Mandatorio | RB3                   |
| RNF2          | Para el despliegue de resultados mostrará una gráfica acotada en un intervalo de tiempo.                                     | Deseable   | Estudio de Solicitud. |
| RNF3          | El modelo asociativo a emplear debe entregar el tiempo en el menor tiempo posible con una eficiencia aceptable.              | Mandatorio | RB3                   |
| RNF4          | Se almacenará el histórico de consultas al sistema, para reducir el tiempo de cómputo en consultas realizadas anteriormente. | Deseable   | RB1                   |

Tabla 7.3 Requisitos no funcionales

### 7.3 Análisis de casos de uso

A continuación se presentan los casos de uso del sistema, así como su definición, condiciones, precondiciones, trayectoria principal y alternativas.

#### 7.3.1 Caso de uso: Iniciar Sesión

##### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que permite identificar al usuario poder iniciar sesión e interactuar con el sistema.

##### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Iniciar Sesión  |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es)        | Usuario.  |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para brindar al usuario la opción de acceso al sistema.   |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo que permite al usuario poder iniciar sesión e interactuar con el sistema.   |
| Entradas:        | Usuario, Contraseña.  |
| Salidas:         | Menú del usuario correspondiente.   |
| Precondiciones:  | El usuario debe estar registrado en el sistema, deben haberse capturado los datos correspondientes al inicio de sesión; que no hayan datos nulos. |
| Postcondiciones: | El sistema mantiene la sesión activa de dicho usuario.  |
| Tipo:            | Primario  |
| Módulo:          | SIPRAT  |
| Autor:           | Jiménez Castañón Carlos Alfredo.  |

Tabla 7.4 Caso de uso Iniciar Sesión

##### Trayectoria principal

1. El actor inicia sesión en la Pantalla – Iniciar sesión
2. El actor ingresa los datos solicitados
3. El sistema valida los datos ingresados por el usuario [Trayectoria A]
4. El sistema muestra la pantalla correspondiente al tipo de usuario que accedió al sistema.

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria alternativa A: Acceso denegado.**

**Condición:** Los datos ingresados por el usuario son invalidos.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que los datos ingresados no son válidos y debe ingresarlos nuevamente de manera correcta.

Fin de la trayectoria alternativa A.

### 7.3.2 Caso de uso: Gestionar Usuarios

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que muestra un panel con las siguientes opciones: modificar, eliminar datos de un determinado usuario, así como agregar nuevos usuarios.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Gestionar Usuarios  |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para administrar usuarios que participen en el Sistema para la Predicción de Contaminantes Atmosféricos.      |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo que permite visualizar, modificar y eliminar datos de los usuarios registrados, así como agregar nuevos usuarios. |
| Entradas:        | Ninguna   |
| Salidas:         | Lista de usuarios registrados.  |
| Precondiciones:  | Que el actor haya adquirido el perfil de administrador mediante el CU Iniciar Sesión.   |
| Postcondiciones: | Ninguna   |
| Autor:           | Jiménez Castañón Carlos Alfredo   |
| Tipo:            | Primario  |
| Módulo           | Gestionar usuarios.   |

Tabla 7.5 Caso de uso Iniciar Gestionar Usuarios

#### Trayectoria Principal

1. El actor inicia sesión en la Pantalla – Iniciar sesión.
2. El actor ingresa los datos solicitados.
3. El sistema obtiene los datos de todos los usuarios registrados [Trayectoria A].
4. El sistema muestra en la pantalla – Gestión de usuarios los datos del actor y una lista de los usuarios registrados en el sistema.
5. El sistema muestra opciones para agregar usuario, modificar usuario y eliminar usuario.

Fin de la trayectoria principal.

#### Trayectoria alternativa A: No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que no se encontraron usuarios.

Fin de la trayectoria alternativa A.

### 7.3.3 Caso de uso: Agregar usuario.

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo para registrar los datos de un nuevo usuario que participará en el sistema.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Agregar Usuario  |
|------------------|--|
| Versión:         | 2.0  |
| Actor(es):       | Administrador.   |
| Propósito        | Registrar datos de un nuevo usuario.   |
| Resumen:         | El actor solicita al nuevo usuario sus datos para capturarlos en el sistema. |
| Entradas:        | Datos del nuevo usuario a registrar.   |
| Salidas:         | Ninguna.   |
| Precondiciones:  | El actor estará situado en el panel Gestionar Usuarios.                      |
| Postcondiciones: | Los datos del nuevo usuario deben ser almacenados en la Base de Datos.       |
| Autor:           | Nava Vargas Antonio de Jesús.  |
| Tipo:            | Secundario.  |
| Módulo           | Gestionar usuarios.  |

Tabla 7.6 Caso de uso Agregar nuevo usuario

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona la opción [Agregar Usuario] de la pantalla –Gestionar usuarios
2. El sistema despliega el panel – Agregar usuario con los campos correspondientes para capturar los datos del usuario.
3. El actor captura los datos del nuevo usuario.
4. El actor oprime el botón [Agregar]
5. El sistema despliega un mensaje de confirmación de agregar usuario [¿Desea agregar usuario?]
6. El actor confirma seleccionando el botón [Aceptar] [Trayectoria A].
7. El sistema verifica que los datos capturados no sean nulos y cumplan con el formato de datos para el usuario, acorde al diccionario de datos. [Trayectoria B]
8. El sistema almacena los datos del nuevo usuario.
9. El sistema muestra un mensaje de operación exitosa [Usuario agregado de manera exitosa].

10. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestión de usuarios**.

Fin de la trayectoria principal

**Trayectoria alternativa A:** Cancelar la operación.

Condición: El actor decide abandonar la operación de registro de usuario.

1. El actor selecciona el botón [Cancelar].
2. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar usuarios**.

Fin de la trayectoria alternativa A.

**Trayectoria de la alternativa B:** Datos incompletos o nulos

Condición: El actor no ha capturado todos los datos correspondientes [Datos nulos] o no ha cumplido la especificación del formato de datos para el usuario, acorde al diccionario de datos.

1. El sistema muestra el mensaje [Datos incompletos o erróneos] advirtiendo que la operación de registro no se puede completar.
2. El sistema limpia las entradas de datos y continúa en el paso 2 de la trayectoria principal del caso de uso **Agregar usuario**.

Fin de la trayectoria alternativa B.



### 7.3.4 Caso de uso: Modificar usuario.

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que muestra la información de un usuario seleccionado, permitiendo modificar los datos.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Modificar Usuario  |
|------------------|--|
| Versión:         | 2.0  |
| Actor(es):       | Administrador.   |
| Propósito        | Modificar datos de un nuevo usuario.   |
| Resumen:         | Se muestra toda la información de un determinado usuario para su modificación. |
| Entradas:        | Nuevos datos del usuario registrado.   |
| Salidas:         | Mensaje de operación exitosa.  |
| Precondiciones:  | El actor estará situado en el panel Gestionar Usuarios.                        |
| Postcondiciones: | Los datos modificados del usuario se actualizan en la Base de Datos.           |
| Autor:           | Ramírez Guevara Luis Ángel.  |
| Tipo:            | Secundario.  |
| Módulo           | Gestionar usuarios.  |

Tabla 7.7 Caso de uso Modificar Usuario

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona la opción [Modificar usuario] de la pantalla –Gestionar usuarios
2. El sistema despliega el panel – Modificar usuario.
3. El actor realiza la búsqueda por nombre del usuario a modificar.
4. El sistema muestra al usuario los datos de la búsqueda.
5. El actor modifica los datos del usuario.
6. El actor oprime el botón [Modificar]
7. El sistema muestra al usuario mensaje de confirmación [¿Desea modificar usuario?].
8. El actor confirma la modificación seleccionando el botón [Aceptar] [Trayectoria A].
9. El sistema valida los datos ingresados [Trayectoria B].
10. El sistema actualiza los datos modificados del usuario.
11. El sistema muestra un mensaje de operación exitosa [Datos de usuario modificados de manera exitosa].

12. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar usuarios.**

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria Alternativa A:** Cancelar operación

**Condición:** El actor decide abandonar la opción de modificar usuarios.

1. El actor presiona el botón [Cancelar]
2. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar usuarios.**

Fin de la trayectoria alternativa A.

**Trayectoria Alternativa B:** Los datos introducidos son nulos

**Condición:** El actor introduce datos [Datos nulos] en el formulario.

1. El sistema muestra el mensaje de error indicando que se ingresaron datos nulos [Datos erróneos o nulos].
2. El sistema continúa en el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Modificar usuario.**

Fin de la trayectoria alternativa B.

### 7.3.5 Caso de uso: Eliminar usuario.

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que muestra la información de un usuario seleccionado, permitiendo eliminarlo del sistema.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Eliminar usuario  |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Eliminar el registro de un usuario del sistema.   |
| Resumen:         | El sistema elimina el registro de un usuario del sistema.   |
| Entradas:        | Nombre del usuario a eliminar.  |
| Salidas:         | Mensaje de operación exitosa.   |
| Precondiciones:  | Que existan registros de usuarios almacenados en el sistema.  |
| Postcondiciones: | El registro del usuario seleccionado debe ser eliminado del sistema actualizando los datos existentes en la Base de Datos. El usuario eliminado no podrá hacer uso del sistema. |
| Autor:           | Nava Vargas Antonio de Jesús.   |
| Tipo:            | Secundario.   |
| Módulo           | Gestionar usuarios.   |

Tabla 7.8 Caso de Uso Eliminar usuario.

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona la opción [Eliminar usuario] de la pantalla –Gestionar usuarios
2. El sistema despliega el panel – Eliminar usuario.
3. El actor realiza la búsqueda por nombre del usuario a modificar.
4. El sistema muestra al usuario los datos de la búsqueda.
5. El actor selecciona el botón [Eliminar].
6. El sistema muestra al usuario mensaje de confirmación [¿Desea eliminar usuario?]
7. El actor confirma la eliminación seleccionando el botón [Aceptar] [Trayectoria A].
8. El sistema elimina el registro del usuario seleccionado.
9. El sistema muestra un mensaje de operación exitosa [Registros de usuario eliminados de manera exitosa].
10. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar usuarios.**

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria Alternativa A:** Cancelar operación

**Condición:** El actor decide abandonar la opción de modificar usuarios.

1. El actor presiona el botón [Cancelar]
2. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar usuarios.**

Fin de la trayectoria alternativa A.

### 7.3.6 Caso de uso: Aprendizaje.

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que permite efectuar un aprendizaje en el sistema.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Agregar Usuario   |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Efectuar un aprendizaje mediante la determinación de ciertos parámetros.                                      |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo que permite efectuar un aprendizaje en el sistema.  |
| Entradas:        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repositorio de datos</li> <li>• Parámetros de aprendizaje</li> </ul> |
| Salidas:         | Resultados de la etapa de aprendizaje.  |
| Precondiciones:  | Que el usuario haya seleccionado cuando menos un repositorio de datos.  |
| Postcondiciones: | El sistema actualiza la información correspondiente al aprendizaje en la base de datos.                       |
| Autor:           | Nava Vargas Antonio de Jesús.   |
| Tipo:            | Primario.   |
| Módulo           | Aprendizaje.  |

Tabla 7.9 Caso de uso Agregar Usuario

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona la opción [Efectuar nuevo aprendizaje] de la pantalla –Estado actual.
2. El sistema muestra mensaje al usuario [¿Desea realizar un nuevo aprendizaje?]
3. El usuario selecciona el botón [Aceptar] [Trayectoria A]
4. El sistema despliega el panel –Seleccionar repositorios de datos de calidad del aire IMECA.
5. El usuario selecciona el botón [Agregar repositorio de datos]
6. El sistema brinda al usuario un cuadro de dialogo para la navegación en el sistema de archivos.
7. El actor selecciona el repositorio de datos.
8. El sistema muestra un mensaje al usuario indicando si desea agregar mayor cantidad de repositorios [¿Desea agregar repositorios de datos?]

9. El actor confirma al sistema que no desea agregar más repositorios de datos seleccionando el botón [No] [Trayectoria B].
10. El sistema valida los repositorios de datos indicados [Trayectoria C].
11. El actor selecciona los parámetros necesarios para el aprendizaje.
12. El sistema valida los parámetros para efectuar el aprendizaje [Trayectoria D]
13. El actor oprime el botón [Aprendizaje]
14. El sistema muestra un mensaje al usuario de confirmación para efectuar el aprendizaje [¿Desea continuar con el aprendizaje?]
15. El usuario selecciona el botón [Si] [Trayectoria E].
16. El sistema efectúa el aprendizaje.
17. El sistema muestra un mensaje de operación exitosa [Aprendizaje efectuado de manera exitosa].
18. El sistema muestra al usuario el panel –Resultado del aprendizaje.

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria Alternativa A:** Cancelación de nuevo aprendizaje.

Condición: El actor decide cancelar el aprendizaje

1. El actor selecciona el botón [Cancelar]
2. El sistema continúa con el paso 1 de la trayectoria principal del caso de uso **Aprendizaje.**

Fin de la trayectoria alternativa A

**Trayectoria Alternativa B:** Seleccionar repositorios de datos

**Condición:** El actor decide agregar mayor cantidad de repositorios de datos.

1. El actor selecciona el botón [Si]
2. El sistema continúa con el paso 6 de la trayectoria principal del caso de uso **Aprendizaje.**

Fin de la trayectoria alternativa B

**Trayectoria Alternativa C:** Repositorio(s) de datos no validos

**Condición:** El sistema detecta que algún repositorio de datos no presenta el formato correcto.

1. El sistema muestra un mensaje al usuario indicando que los repositorios no se cargaron correctamente [Seleccione repositorios con un formato valido].
2. El sistema continúa con el paso 6 de la trayectoria principal del caso de uso **Aprendizaje.**

Fin de la trayectoria alternativa C.

**Trayectoria Alternativa D:** Parámetros inválidos

**Condición:** El sistema detecta que los parámetros indicados por el usuario no son válidos.

1. El sistema muestra un mensaje al usuario indicando que los parámetros indicados para efectuar el aprendizaje no son válidos [Seleccione parámetros validos]
2. El sistema continúa con el paso 11 de la trayectoria principal del caso de uso Aprendizaje.

Fin de la trayectoria alternativa D.

**Trayectoria Alternativa E:** Cancelar la operación efectuar aprendizaje

**Condición:** El actor decide abandonar la opción efectuar nuevo aprendizaje.

1. El actor selecciona el botón [No]
2. El sistema continúa con el paso 2 de la trayectoria principal del caso de uso **Aprendizaje.**

Fin de la trayectoria alternativa E.

### 7.3.7 Caso de uso: Gestionar Bases de Datos

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que muestra un panel con las siguientes opciones: restaurar base de datos, restaurar clasificador, eliminar base de datos.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Gestionar Bases de Datos   |
|------------------|--|
| Versión:         | 2.0  |
| Actor(es):       | Administrador.   |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para administrar las bases de datos que son resultado de la etapa de aprendizaje.                                      |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo que muestra un panel con las siguientes opciones: restaurar base de datos, restaurar clasificador, eliminar base de datos. |
| Entradas:        | Ninguna.   |
| Salidas:         | Lista de bases de datos existentes en el sistema.  |
| Precondiciones:  | Que el actor haya adquirido el perfil de administrador mediante el CU Iniciar Sesión.  |
| Postcondiciones: | Ninguna.   |
| Autor:           | Ramírez Guevara Luis Ángel.  |
| Tipo:            | Primario.  |
| Módulo           | Gestionar Bases de Datos.  |

Tabla 7.10 Caso de uso Consultar calidad del aire.

#### Trayectoria Principal

1. El actor inicia sesión en la Pantalla – Iniciar sesión.
2. El actor ingresa los datos solicitados.
3. El sistema obtiene el registro de todas las bases de datos existentes en el sistema [Trayectoria A].
4. El sistema muestra en la pantalla – Gestionar Bases de Datos una lista con los registros de las bases de datos existentes en el sistema.
5. El sistema muestra opciones para restaurar base de datos, restaurar clasificador, eliminar base de datos.

Fin de la trayectoria principal.



**Trayectoria alternativa A:** No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que no se encontraron registros de bases de datos.

Fin de la trayectoria alternativa A.

### 7.3.8 Caso de uso: Respalda base de datos

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo para permitir al usuario respaldar una base de datos en específico.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Respalda base de datos  |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para respaldar una base de datos resultante de la etapa de aprendizaje. |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo para permitir al usuario respaldar una base de datos en específico.         |
| Entradas:        | Ninguna.  |
| Salidas:         | Ventana de navegación.  |
| Precondiciones:  | Que el actor se encuentre en el panel gestionar bases de datos.                                 |
| Postcondiciones: | Ninguna.  |
| Autor:           | Jiménez Castañón Carlos Alfredo.  |
| Tipo:            | Secundario.   |
| Módulo           | Gestionar Bases de Datos.   |

Tabla 7.11 Caso de uso Respalda base de datos.

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona el panel Gestionar Bases de Datos
2. El sistema despliega una lista con los registros de las bases de datos existentes.  
[Trayectoria A]
3. El actor indica parámetros que funcionan como filtro de búsqueda de la lista.
4. El sistema actualiza la lista de resultados arrojados por el filtro.
5. El actor selecciona la base de datos a respaldar.
6. El sistema muestra mensaje de operación exitosa.

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria alternativa A:** No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que no se encontraron registros de bases de datos.

Fin de la trayectoria alternativa A.

### 7.3.9 Caso de uso: Eliminar base de datos

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo para permitir al usuario eliminar una base de datos en específico.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Eliminar base de datos   |
|------------------|--|
| Versión:         | 2.0  |
| Actor(es):       | Administrador.   |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para eliminar una base de datos resultante de la etapa de aprendizaje. |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo para permitir al usuario eliminar una base de datos en específico.         |
| Entradas:        | Ninguna.   |
| Salidas:         | Ventana de navegación.   |
| Precondiciones:  | Que el actor se encuentre en el panel gestionar bases de datos.                                |
| Postcondiciones: | Ninguna.   |
| Autor:           | Ramírez Guevara Luis Ángel.  |
| Tipo:            | Secundario.  |
| Módulo           | Gestionar Bases de Datos.  |

Tabla 7.12 Caso de uso Eliminar Base de Datos

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona el panel Gestionar Bases de Datos
2. El sistema despliega una lista con los registros de las bases de datos existentes.  
[Trayectoria A]
3. El actor indica parámetros que fungen como filtro de búsqueda de la lista.
4. El sistema actualiza la lista de resultados arrojados por el filtro.
5. El actor selecciona una base de datos a eliminar.
6. El sistema muestra mensaje de confirmación de eliminación al usuario.  
[Trayectoria B].
7. El usuario confirma la operación.
8. El sistema muestra mensaje de operación exitosa.

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria alternativa A:** No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que no se encontraron registros de bases de datos.

Fin de la trayectoria alternativa A.

**Trayectoria Alternativa B:** Cancelar operación.

**Condición:** El actor decide cancelar la operación eliminar base de datos.

1. El actor selecciona el botón [Cancelar]
2. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar bases de datos.**

Fin de la trayectoria alternativa B.

### 7.3.10 Caso de uso: Restaurar base de datos

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo para permitir al usuario respaldar una base de datos en específico.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Restaurar base de datos   |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para restaurar una base de datos resultante de la etapa de aprendizaje. |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo para permitir al usuario eliminar una base de datos en específico.          |
| Entradas:        | Ninguna.  |
| Salidas:         | Ventana de navegación.  |
| Precondiciones:  | Que el actor se encuentre en el panel gestionar bases de datos.                                 |
| Postcondiciones: | Ninguna.  |
| Autor:           | Jiménez Castañón Carlos Alfredo.  |
| Tipo:            | Secundario.   |
| Módulo           | Gestionar Bases de Datos.   |

Tabla 7.13 Caso de uso Restaurar Base de Datos

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona el panel Gestionar Bases de Datos
2. El sistema despliega una lista con los registros de las bases de datos existentes.  
[Trayectoria A]
3. El actor indica parámetros que funcionan como filtro de búsqueda de la lista.
4. El sistema actualiza la lista de resultados arrojados por el filtro.
5. El actor selecciona una base de datos a eliminar.
6. El sistema despliega una ventana de navegación para seleccionar una nueva base de datos.
7. El usuario selecciona la base de datos
8. El sistema valida la nueva base de datos [Trayectoria B]
9. El sistema muestra mensaje de confirmación al usuario [Trayectoria C].
10. El usuario confirma la operación.
11. El sistema muestra mensaje de operación exitosa.

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria alternativa A:** No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que no se encontraron registros de bases de datos.

Fin de la trayectoria alternativa A.

**Trayectoria alternativa B:** Base de datos inválida.

**Condición:** El usuario ingresa una base de datos inválida.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que la base de datos seleccionada no es válida.
2. El sistema despliega una ventana de navegación para seleccionar una nueva base de datos.
3. El sistema continúa con el paso 7 de la trayectoria principal del caso de uso **Restaurar base de datos.**

Fin de la trayectoria alternativa B.

**Trayectoria alternativa C:** Cancelar operación.

**Condición:** El actor decide cancelar la operación restaurar base de datos.

1. El actor selecciona el botón [Cancelar]
2. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar bases de datos.**

Fin de la trayectoria alternativa C.

### 7.3.11 Caso de uso: Restaurar clasificador

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo para permitir al usuario restaurar un clasificador en específico.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Restaurar clasificador  |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para restaurar un clasificador resultante de la etapa de aprendizaje. |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo para permitir al al usuario restaurar un clasificador en específico.      |
| Entradas:        | Ninguna.  |
| Salidas:         | Ventana de navegación.  |
| Precondiciones:  | Que el actor se encuentre en el panel gestionar bases de datos.                               |
| Postcondiciones: | Ninguna.  |
| Autor:           | Nava Vargas Antonio de Jesús.   |
| Tipo:            | Secundario.   |
| Módulo           | Gestionar Bases de Datos.   |

Tabla 7.14 Caso de uso Restaurar Clasificador

#### Trayectoria Principal

1. El actor selecciona el panel Gestionar Bases de Datos
2. El sistema despliega una lista con los clasificadores existentes. [Trayectoria A]
3. El actor indica parámetros que funcionan como filtro de búsqueda de la lista.
4. El sistema actualiza la lista de resultados arrojados por el filtro.
5. El actor selecciona el clasificador a restaurar.
6. El sistema despliega una ventana de navegación para seleccionar un clasificador.
7. El usuario selecciona el nuevo clasificador.
8. El sistema valida el clasificador [Trayectoria B]
9. El sistema muestra mensaje de confirmación al usuario [Trayectoria C]
10. El usuario confirma la operación.
11. El sistema muestra mensaje de operación exitosa.

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria alternativa A:** No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que no se encontraron registros de bases de datos.

Fin de la trayectoria alternativa A.

**Trayectoria alternativa B:** Clasificador invalido.

**Condición:** El usuario selecciona un clasificador inválido.

1. El sistema muestra al usuario un mensaje indicando que el clasificador de datos seleccionado no es válido.
2. El sistema despliega una ventana de navegación para seleccionar una nueva clasificador.
3. El sistema continúa con el paso 7 de la trayectoria principal del caso de uso **Restaurar clasificador.**

**Trayectoria alternativa C:** Cancelar operación.

**Condición:** El actor decide cancelar la operación restaurar clasificador.

1. El actor selecciona el botón [Cancelar]
2. El sistema continúa con el paso 3 de la trayectoria principal del caso de uso **Gestionar bases de datos.**

Fin de la trayectoria alternativa C.



### 7.3.12 Caso de uso: Consultar calidad del aire

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que muestra un panel que permite al usuario consultar la calidad del aire.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Consultar calidad del aire   |
|------------------|--|
| Versión:         | 2.0  |
| Actor(es):       | Administrador.   |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para permitir al usuario consultar la calidad del aire en determinado día. |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo que muestra un panel que permite al usuario consultar la calidad del aire.     |
| Entradas:        | Parámetros para consulta de calidad del aire   |
| Salidas:         | Reporte de calidad del aire.   |
| Precondiciones:  | Que el actor haya adquirido el perfil de operador mediante el CU Iniciar Sesión.                   |
| Postcondiciones: | Ninguna  |
| Autor:           | Ramírez Guevara Luis Ángel   |
| Tipo:            | Primario   |
| Módulo           | Clasificación.   |

Tabla 7.15 Caso de uso Consultar calidad del aire

#### Trayectoria Principal

1. El actor se sitúa en el panel – Consultar calidad del aire.
2. El actor selecciona los parámetros para la consulta.
3. El sistema obtiene los parámetros ingresados por el usuario
4. El sistema despliega un panel con el reporte de calidad del aire [Trayectoria A].

Fin de la trayectoria principal.

Trayectoria alternativa A: No existen registros.

**Condición:** El sistema no encontró registro de usuarios almacenados.

1. El sistema muestra un mensaje al usuario indicando que no se ha efectuado el aprendizaje con respecto a los parámetros seleccionados.

Fin de la trayectoria alternativa A.

### 7.3.13 Caso de uso: Mostrar resultados de clasificación

#### Descripción completa:

Ofrece un mecanismo que muestra un panel que permite al usuario consultar los resultados de la clasificación.

#### Atributos importantes:

| Caso de Uso      | Mostrar resultados de clasificación   |
|------------------|---|
| Versión:         | 2.0   |
| Actor(es):       | Administrador.  |
| Propósito        | Contar con un mecanismo para permitir al usuario consultar los resultados de la clasificación con base en parámetros específicos.                       |
| Resumen:         | Ofrece un mecanismo que muestra un panel que permite al usuario consultar los resultados de la clasificación.   |
| Entradas:        | Parámetros para consulta de calidad del aire.   |
| Salidas:         | <ul style="list-style-type: none"><li>• Reporte de calidad del aire.</li><li>• Grafica que describe el comportamiento de la calidad del aire.</li></ul> |
| Precondiciones:  | Que el actor haya adquirido el perfil de operador mediante el CU Iniciar Sesión.  |
| Postcondiciones: | Ninguna   |
| Autor:           | Ramírez Guevara Luis Ángel  |
| Tipo:            | Primario  |
| Módulo           | Clasificación.  |

Tabla 7.16 Caso de uso Mostrar resultados de clasificación

#### Trayectoria Principal

1. El actor se sitúa en el panel – Consultar calidad del aire.
2. El actor selecciona los parámetros para la consulta.
3. El sistema obtiene los parámetros ingresados por el usuario
4. El sistema despliega un panel con el reporte de calidad del aire.
5. El usuario selecciona una fecha específica para el despliegue de la gráfica [Trayectoria A].
6. El sistema muestra la nueva grafica al usuario [Trayectoria B].

Fin de la trayectoria principal.

**Trayectoria alternativa B:** Fecha inválida.

**Condición:** El usuario ingresa una fecha inválida.

1. El sistema muestra un mensaje al usuario indicando que no se ha efectuado el aprendizaje con respecto a los parámetros seleccionados.
2. El usuario selecciona el botón “Limpiar gráfica”.
3. El sistema continua con el paso 5 del caso de uso **Mostrar resultados de la clasificación**

Fin de la trayectoria alternativa B.

## 7.4 Análisis de clases

En el siguiente diagrama se muestran las clases obtenidas y sus relaciones, dentro del sistema “SIPRAT”, tanto para la relación que existe entre la librería de graficación “Telerik”. Este diseño de clases, satisface los módulos del sistema, así como los casos de uso y los requerimientos de sistema.

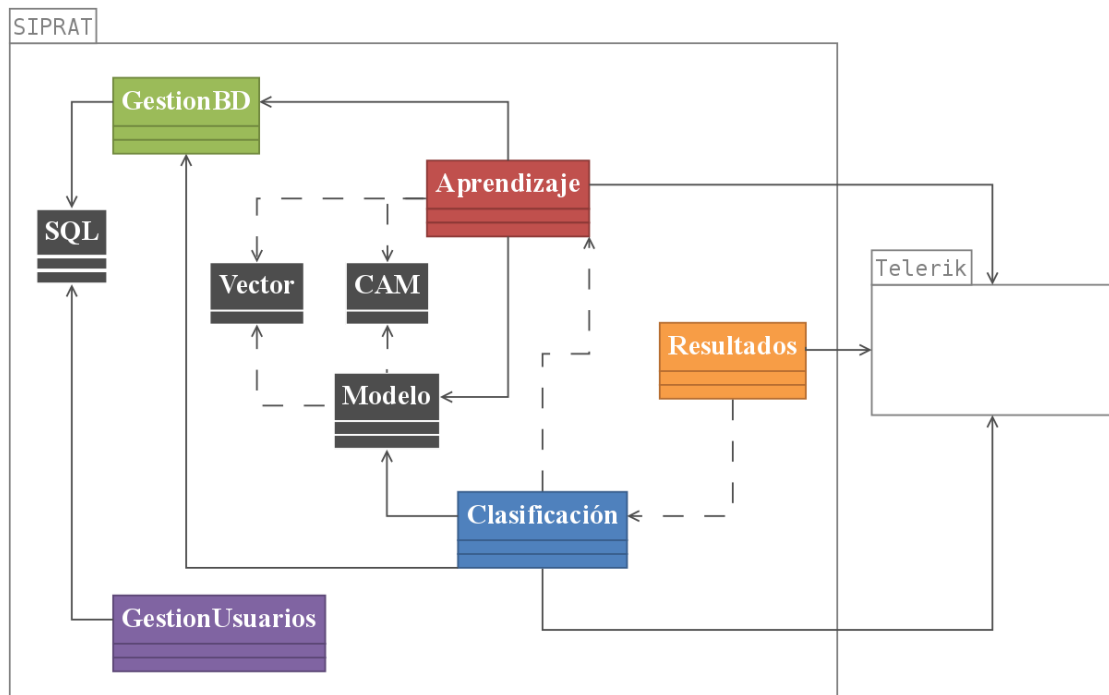


Figura 7.2 Diagrama de Clases General

- **Clase Vector:** Define los atributos que serán usados por el modelo asociativo, el módulo de aprendizaje, módulo de clasificación, módulo de despliegue de resultados.
- **Clase Aprendizaje:** Contiene los atributos y métodos necesarios para realizar el aprendizaje del sistema.
- **Clase Clasificación:** Contiene los atributos y métodos necesarios para la clasificación de niveles de contaminante atmosférico.
- **Clase Resultados:** Contiene los métodos para la presentación de resultados (gráfica y reporte) de la calidad del aire en un intervalo de tiempo específico.
- **Clase Modelo:** Define el modelo asociativo a utilizar así como los atributos y métodos necesarios.

- **Clase SQL:** Establece la conexión con la base de datos, además de proporcionar los métodos necesarios para la gestión de usuarios, gestión de bases de datos, clasificación y aprendizaje.
- **Clase GestionUsuarios:** Provee los métodos necesarios para gestionar los usuarios del sistema.
- **Clase GestionBD:** Provee los métodos necesarios para gestionar las bases de datos & repositorios del sistema.

En el posterior capítulo se describirán a detalle dichas clases.

### 7.5 Definición de las interfaces de usuario

A continuación se presentan las interfaces de usuario, que partiendo desde el análisis del sistema como módulos, dichas interfaces brindan la correcta interacción de los usuarios con el sistema, satisfaciendo a su vez cada caso de uso descrito anteriormente.



|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Nombre</b>                    | <b>“SIPRAT – Iniciar sesión”.</b>                      |
| <b>Caso de uso que satisface</b> | Iniciar sesión Operador, Iniciar sesión Administrador. |

**Descripción**

El sistema le muestra al usuario la pantalla “SIPRAT – Iniciar sesión” en la cual se deberá ingresar usuario y contraseña. El sistema validará los datos recibidos, posteriormente mostrará la ventana principal dependiendo del tipo de usuario que inicio sesión.

Tabla 7.17 Interfaz de Usuario “SIPRAT-Iniciar Sesión”



**Nombre**

**“SIPRAT – Iniciar sesión”.**

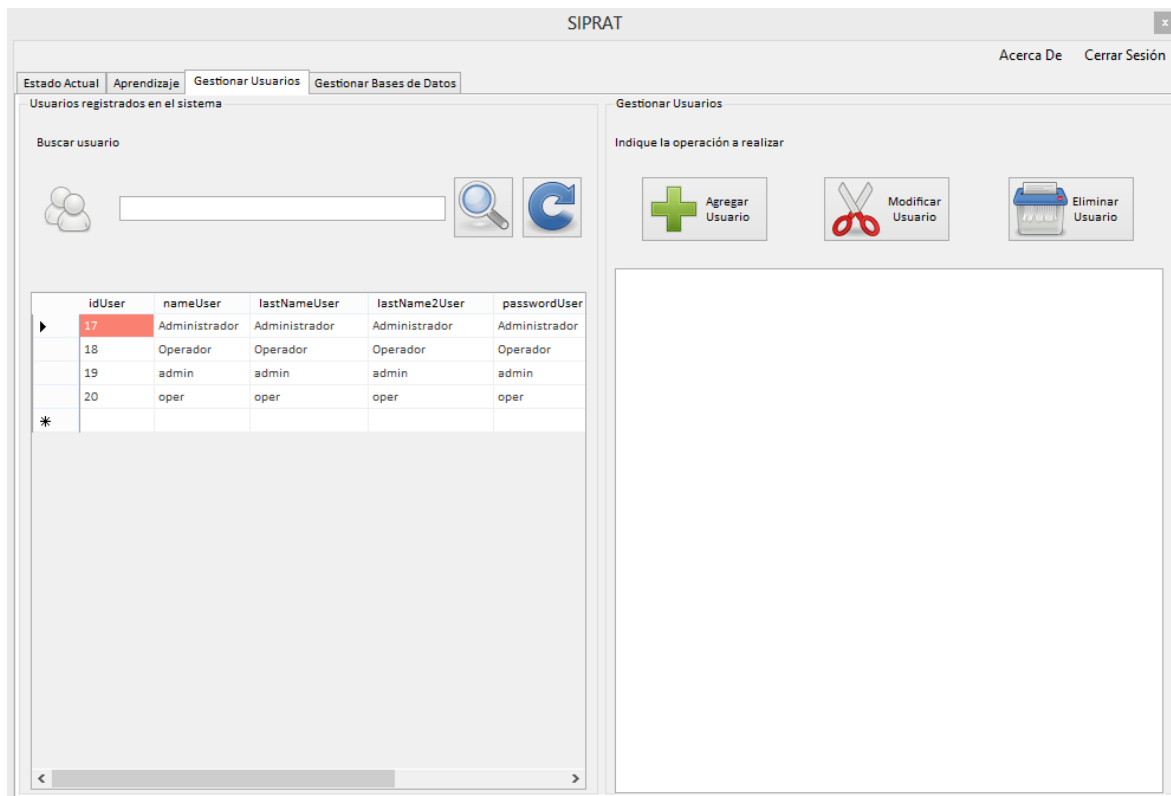
**Caso de uso que satisface**

Iniciar sesión Administrador.

**Descripción**

El sistema le muestra al usuario la pantalla de administrador, en la cual dicho usuario, puede ver un resumen del estado actual del sistema, y puede llevar a cabo el aprendizaje del sistema, gestión de usuarios, gestión de BD.

Tabla 7.18 Interfaz de Usuario “SIPRAT-Iniciar Sesión”



**Nombre**

**“SIPRAT – Gestión de usuarios”.**

**Caso de uso que satisface**

**Gestión de Usuarios**

**Descripción**

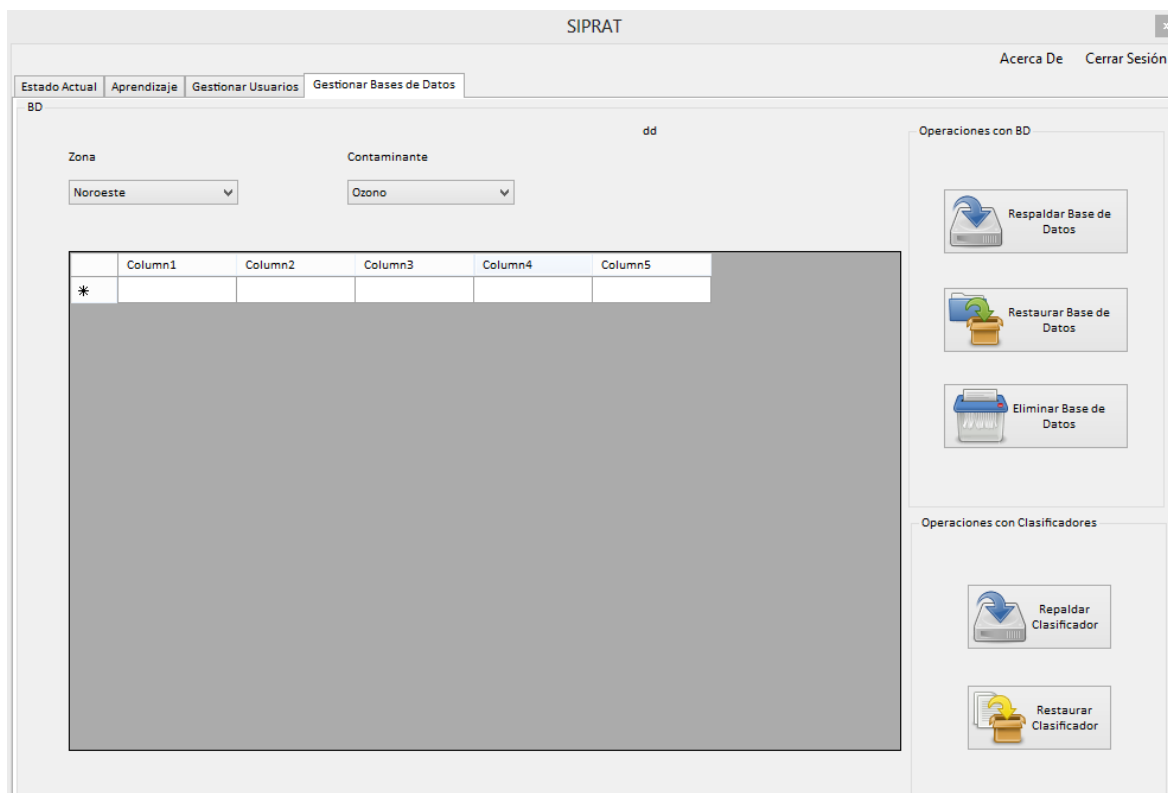
El sistema le muestra al administrador la pantalla “SIPRAT – Gestión de Usuarios” en la cual se muestra un menú con tres botones, para la gestión:

- Agregar Usuario
- Modificar usuario
- Eliminar Usuario

Así como el listado de usuarios que se encuentran registrados actualmente en el sistema.

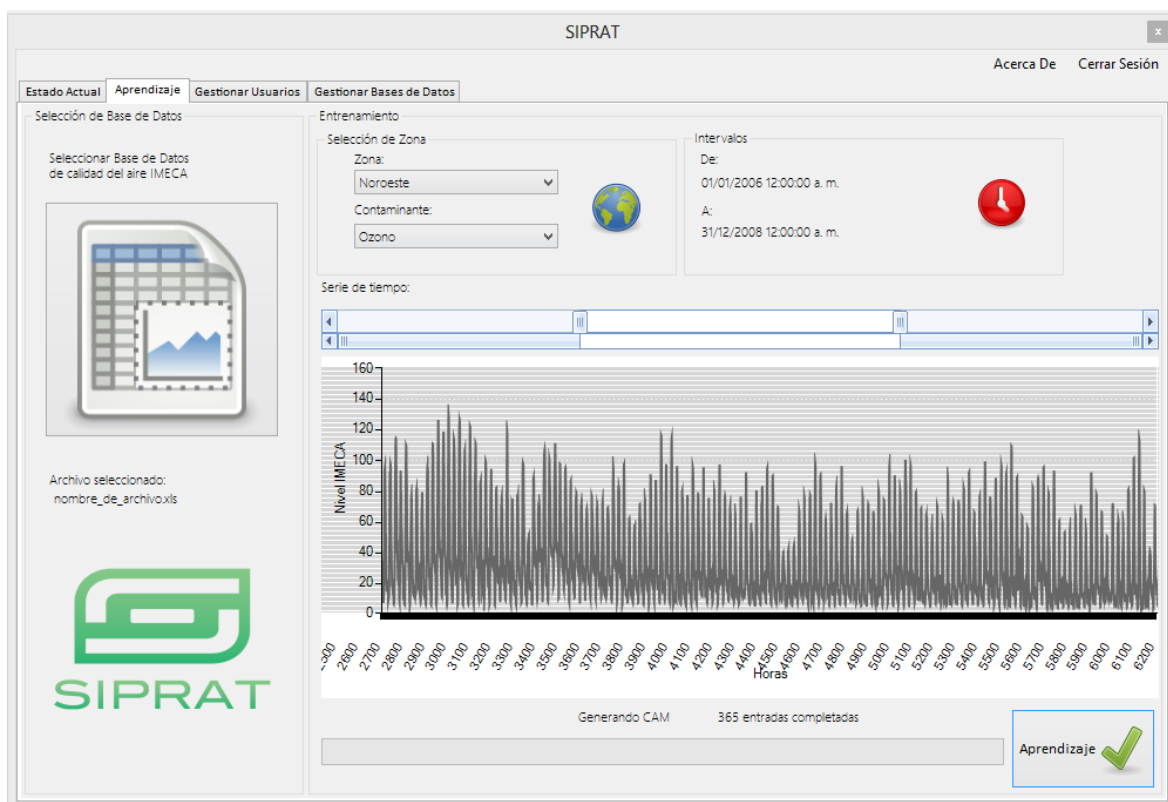
*Tabla 7.19 Interfaz de Usuario "SIPRAT-Gestión de Usuarios"*





| Nombre                    | "SIPRAT – Gestión de Bases de Datos".  |
|---------------------------|--|
| Caso de uso que satisface | Gestión de Bases de Datos  |
| Descripción               | <p>El sistema le muestra al administrador la pantalla "SIPRAT – Gestión de Bases de Datos" en la cual se muestra un menú con tres botones principales de gestión. Al hacer clic en el botón "Añadir usuario" se habilita la pestaña "Añadir usuario" en la cual el administrador deberá ingresar tres campos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre para nuevo usuario</li> <li>• Contraseña para el nuevo usuario</li> <li>• Tipo de usuario</li> </ul> <p>Una vez llenados los campos, el administrador hace clic en el botón "Agregar" previamente validados los datos, el sistema muestra un mensaje de confirmación. Se pueden visualizar en el panel derecho los usuarios registrados actualmente en el sistema.</p> |

Tabla 7.20 Interfaz de Usuario "SIPRAT-Gestión de Usuarios"



**Nombre**

**“SIPRAT – Aprendizaje”.**

**Caso de uso que satisface**

**Aprendizaje**

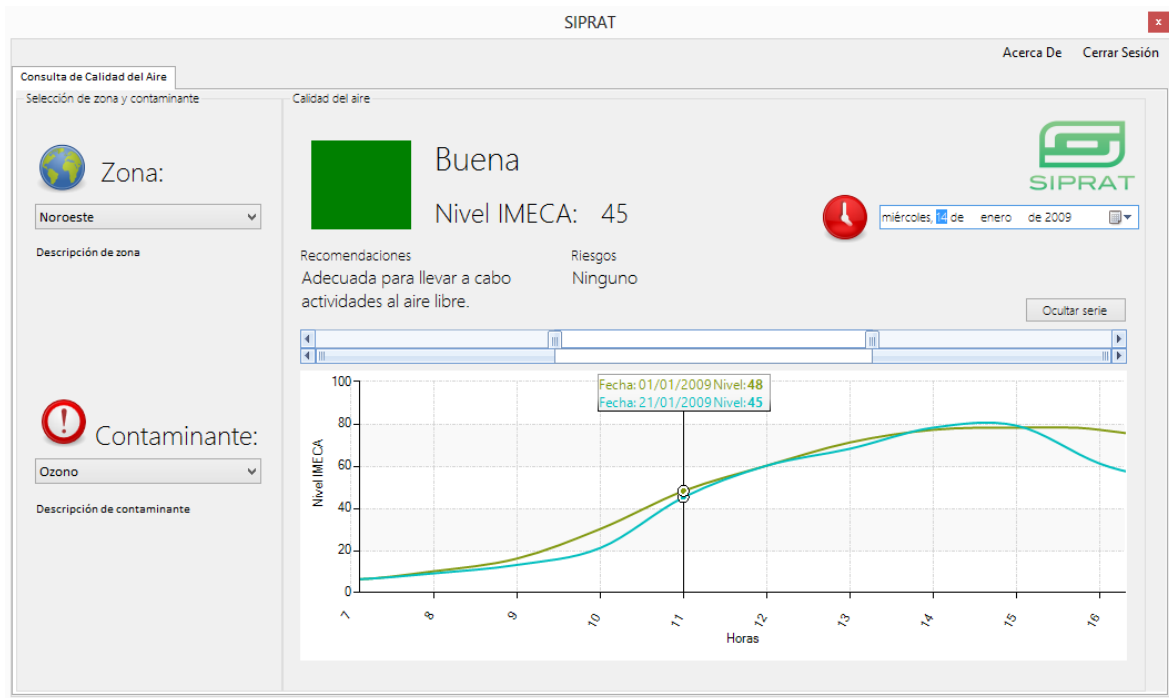
**Descripción**

El sistema le muestra al administrador la pantalla “SIPRAT – Aprendizaje” en la cual se muestra un menú con tres paneles. El panel “Selección de Base de Datos” le brinda al administrador la opción de seleccionar una base de datos para efectuar el aprendizaje. El panel “Entrenamiento” cuenta con tres opciones:

- “Selección de Zona” en donde el usuario selecciona la zona geográfica y el contaminante para efectuar el aprendizaje.
- “Selección de intervalo” en donde el usuario selecciona la fecha para efectuar el aprendizaje.
- “Selección de horas” en donde el usuario selecciona las horas del día para efectuar el aprendizaje

El panel “Serie de tiempo” cuenta con un botón “Entrenar” el cual activa el aprendizaje del sistema y una vez procesada la información se le presenta al administrador en forma de serie de tiempo.

*Tabla 7.21 Interfaz de usuario “SIPRAT-Aprendizaje”*



**Nombre**

**“SIPRAT – Iniciar sesión Operador”.**

**Caso de uso que satisface**

Iniciar sesión Operador

**Descripción**

El sistema muestra una pantalla al usuario, en la cual este podrá realizar la clasificación o consulta del nivel de contaminante atmosférico, se le desplegará una gráfica que contiene el comportamiento del contaminante en un intervalo de tiempo de 24 horas.

## 7.6 Elaboración del modelo conceptual de datos

El sistema contendrá una base de datos, "SIPRAT", en donde se almacenará los datos de los usuarios registrados y un histórico de las consultas que se hayan hecho en el sistema. Así como los clasificadores por año, mes, día y hora resultantes de la fase de aprendizaje; y que a su vez son necesarios para la clasificación de un nivel de contaminante en un intervalo de tiempo específico.

Por lo cual se presenta a continuación el diseño lógico de dicha base de datos, descompuesta en las entidades:

- Usuarios
- Clasificadores

Así como sus relaciones.

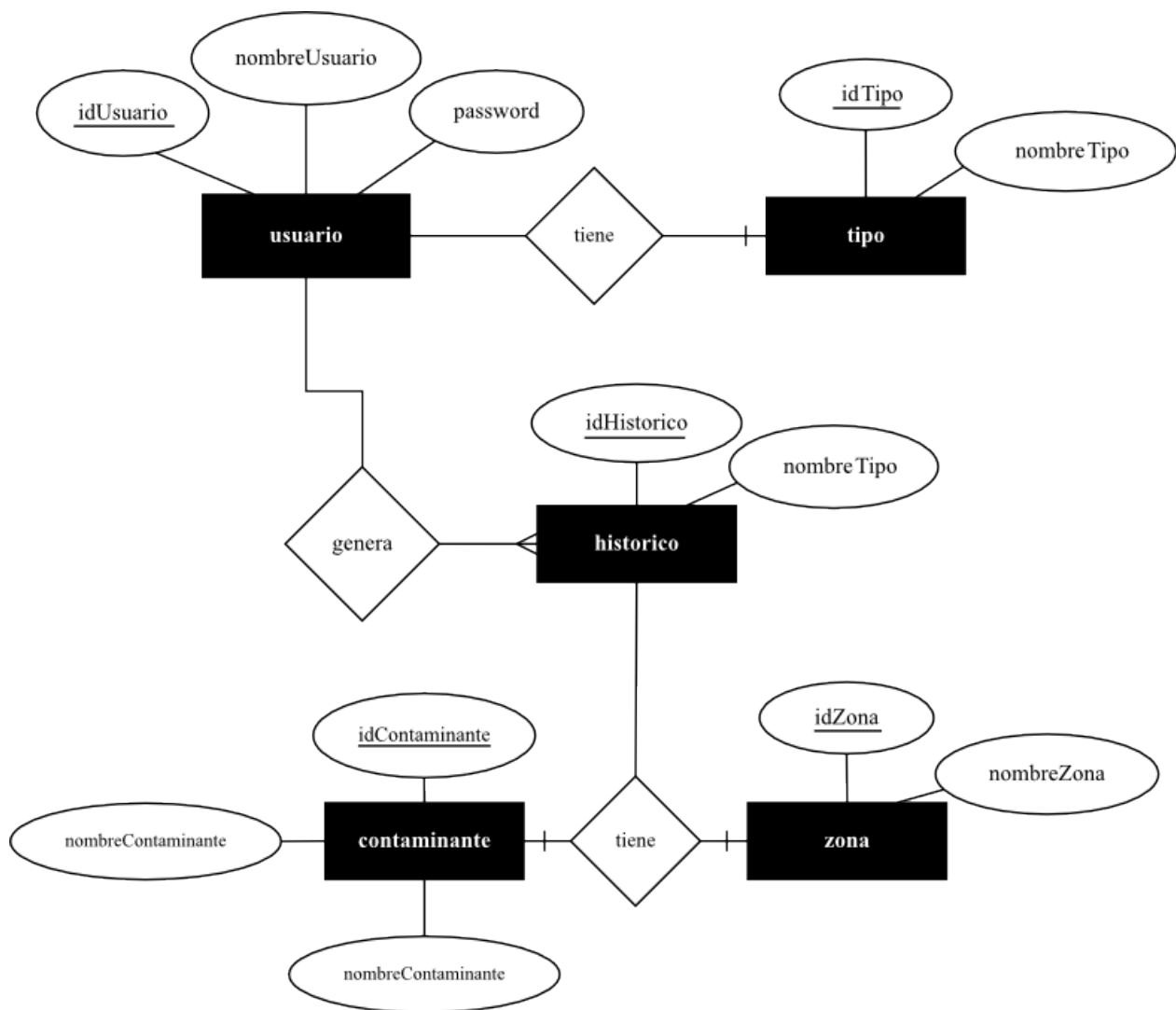


Figura 7.3 Modelo entidad-relación de usuarios

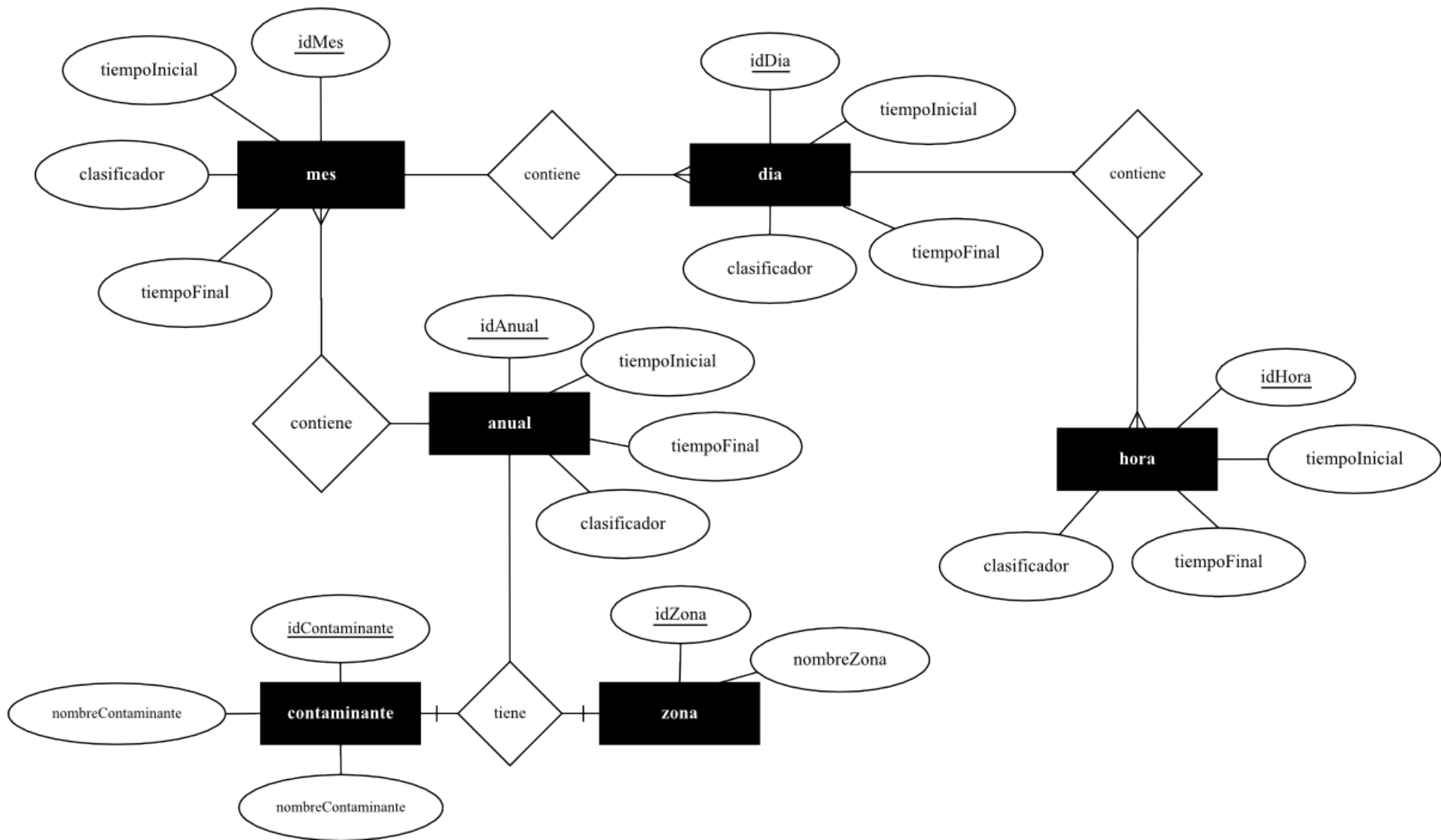


Figura 7.4 Modelo Entidad-Relación de clasificadores

## Capítulo 8. Diseño

El diseño del sistema se muestra en el presente capítulo. Los diagramas que se presentan muestran la estructura a nivel de software que se pretende desarrollar.

### 8.1 Definición de la arquitectura del sistema

El sistema contendrá tres bloques principalmente:

- El primero de ellos es el bloque llamado “SIPRAT” que es el que contiene los módulos que realizan las tareas y procesos del sistema
- El segundo, llamado “Base de Datos”, es donde el sistema guardará datos generados en el bloque SIPRAT.
- El tercero, llamado “Resultados”, se compone del paquete “Telerik”, el cual, ayudará al despliegue de resultados, más específicamente, a la tarea de graficación del nivel de contaminante

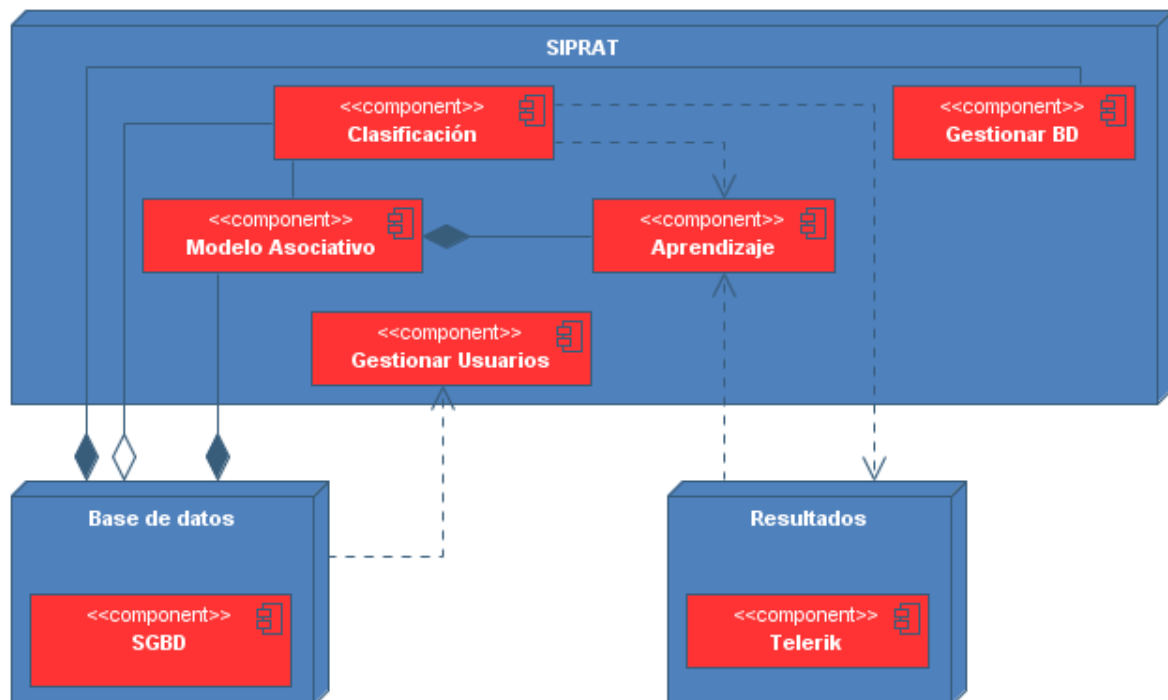


Figura 8.1 Arquitectura del sistema

### 8.1.1 Especificación de Excepciones

A continuación se presentan las posibles excepciones que el sistema presentará durante su uso. Estas excepciones se acompañan con la respuesta que el sistema tendrá cuando se presenten y el caso de uso que se ve afectado.

| ID                 | Descripción  | Caso de uso Afectado        | Respuesta del Sistema  |
|--------------------|--|-----------------------------|--|
| EC-1 <sup>11</sup> | Error de conexión con la base de datos.                                | Gestionar BD                | El sistema muestra una alerta notificando al usuario el error de conexión.   |
| EL-1 <sup>12</sup> | El administrador no puede abrir el repositorio de datos.               | Gestionar BD                | El sistema le notifica al usuario que su repositorio de datos no pudo ser cargado y despliega la ventana de selección de repositorio para cargarlo nuevamente. |
| EC-1 <sup>13</sup> | Error al momento de llevar a cabo la graficación de la serie de tiempo | Aprendizaje / Clasificación | Se intenta una vez más graficar, en caso de presentarse de nuevo, no se muestra la gráfica   |
| EA-1 <sup>14</sup> | El sistema no responde durante la etapa de aprendizaje.                | Aprendizaje                 | -  |

Tabla 8.1 Excepciones del Sistema

<sup>11</sup> EC: Eventos de error de conexión de dispositivos

<sup>12</sup> EL: Eventos de error en Lectura/Escritura.

<sup>13</sup> EC: Eventos de error de conexión de dispositivos

<sup>14</sup> EA: Eventos de error de Aplicación

### 8.1.2 Catálogo de normas

El sistema hace uso de distintas normas que ayudan como aval de los procesos en función de metodología de desarrollo y entorno tecnológico.

| ID   | Tipo               | Nombre   | Descripción   |
|------|--------------------|--|---|
| NM-1 | ISO-EIC 12207      | Métrica V3   | Tiene como objetivo principal cubrir la vida completa del software, desde la concepción hasta el retiro y no solamente el esfuerzo del desarrollo. De igual forma, pretende que las organizaciones utilicen estos 17 procesos dentro de sus proyectos particulares. |
| NA-1 | NADF-009-AIRE-2006 | Índice<br>Metropolitano de<br>Calidad del Aire<br>(IMECA). | Establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de Calidad del Aire.   |

*Tabla 8.2 Catálogo de Normas*



## 8.2 Diseño de Clases

Las clases que componen el sistema tienen interacciones entre sí para complementar su funcionalidad. En la Tabla se muestra una breve explicación de la función que tienen las distintas clases y, posteriormente, en la Figura 8.2 se muestra un diagrama donde se ilustran dichas interacciones.

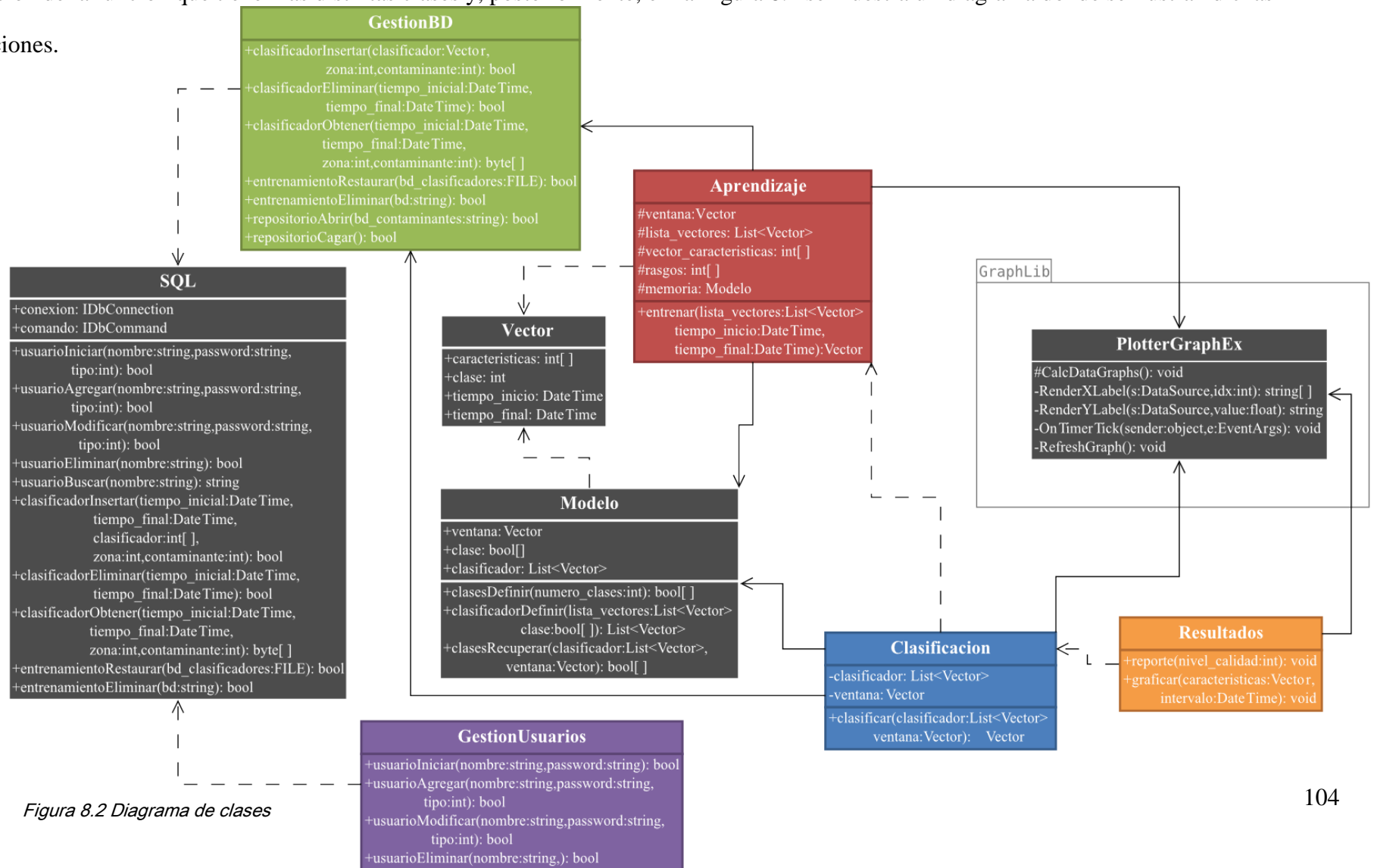


Figura 8.2 Diagrama de clases

### 8.3 Realización de casos de uso

En el siguiente apartado se muestra el diseño de los casos de uso del sistema, obtenidos mediante el análisis de los requerimientos funcionales. En ellos se describen los pasos que deberán realizarse para llevar a cabo algún proceso, visto de otra manera, la manera en que interactúan los actores con el sistema.

#### 8.3.1 Diagramas de secuencia

Un diagrama de secuencia, muestra la interacción de un conjunto de objetos, a través del tiempo, contiene detalles, de implementación, incluyendo objetos, y clases que se usan para implementar el escenario y mensajes intercambiados entre objetos, cabe aclarar que existe una relación 1:1 entre diagrama de secuencia y caso de uso, esto es; existe un diagrama de secuencia para cada uno de los casos de uso.

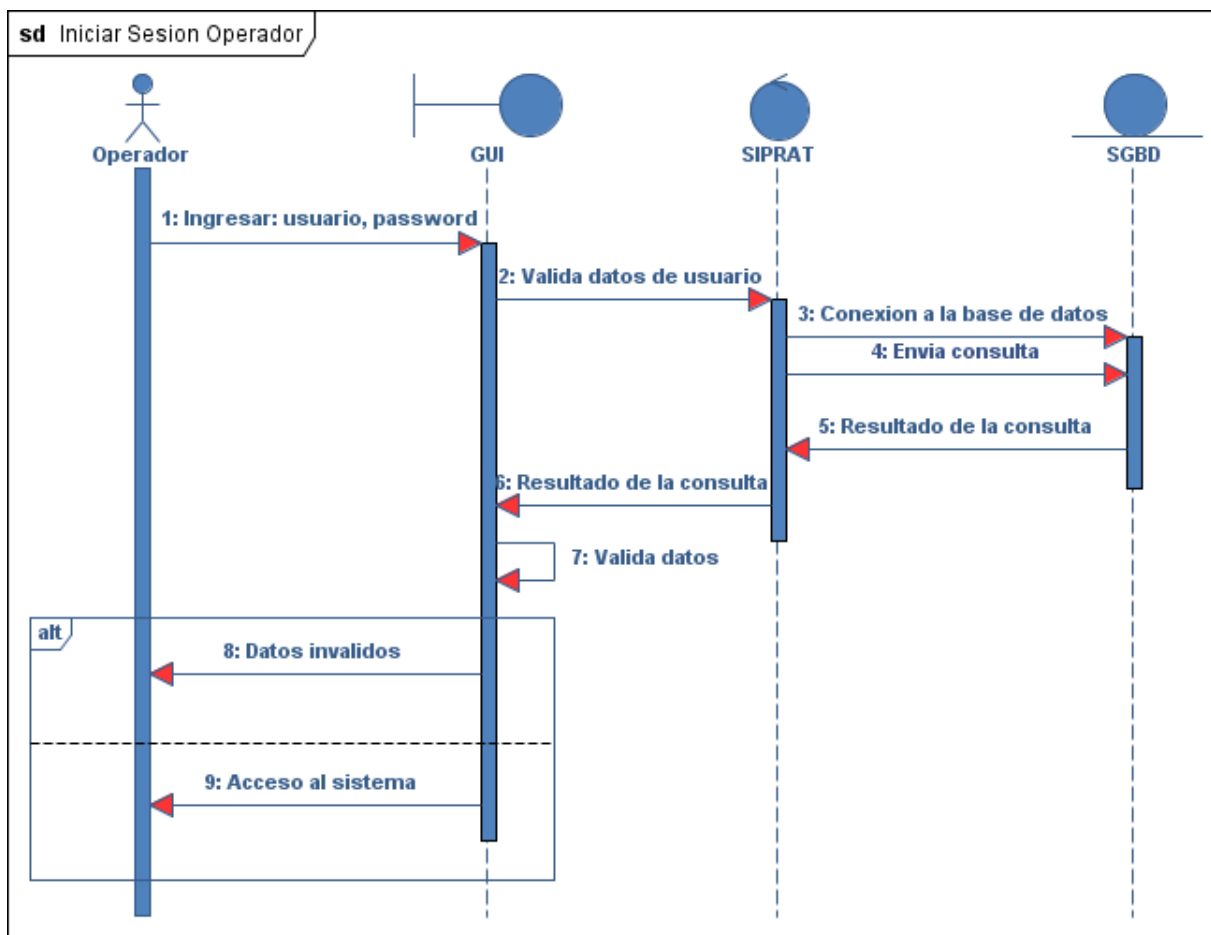


Figura 8.3 Diagrama de secuencia Iniciar Sesión Operador

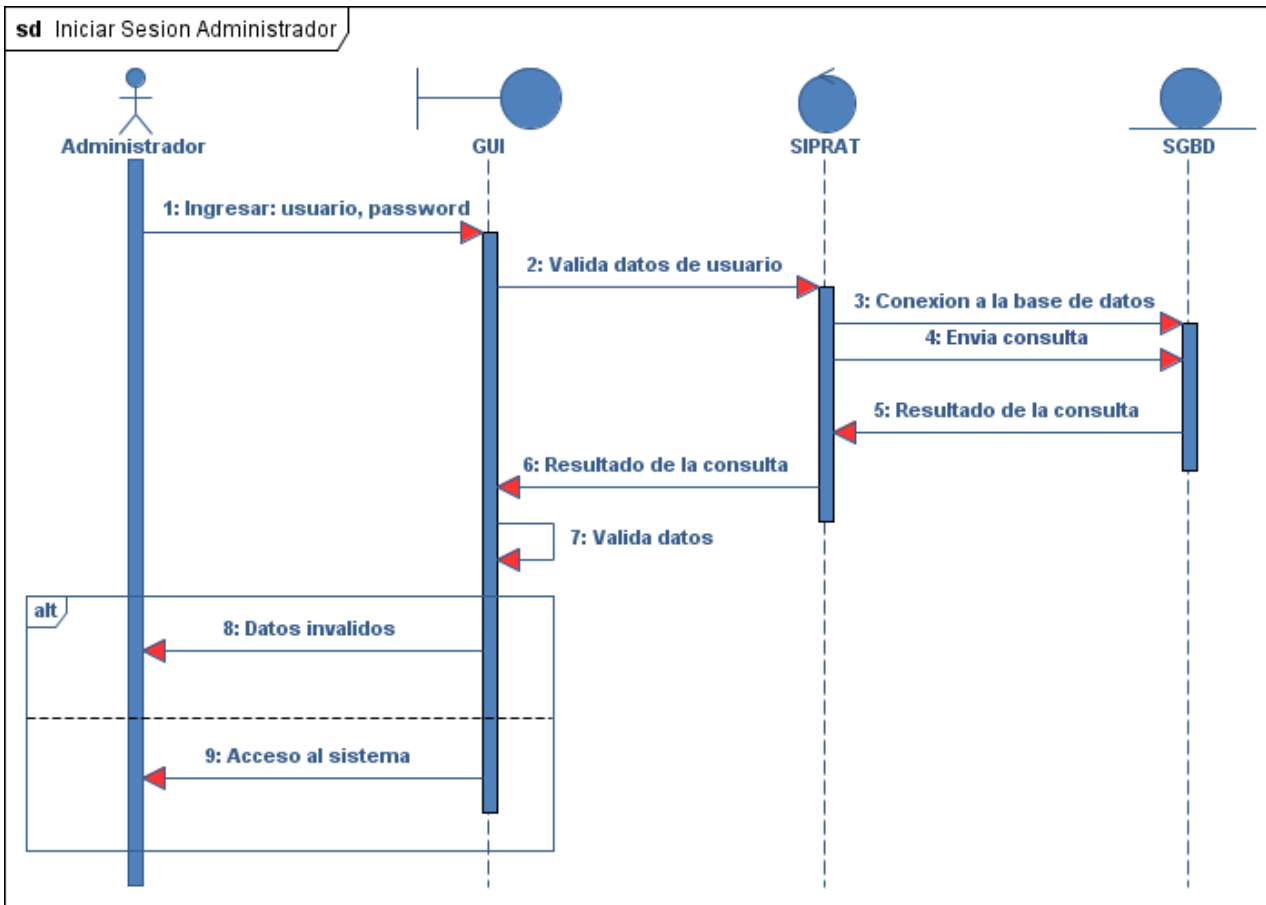


Figura 8.4 Diagrama de secuencia Iniciar Sesión Administrador

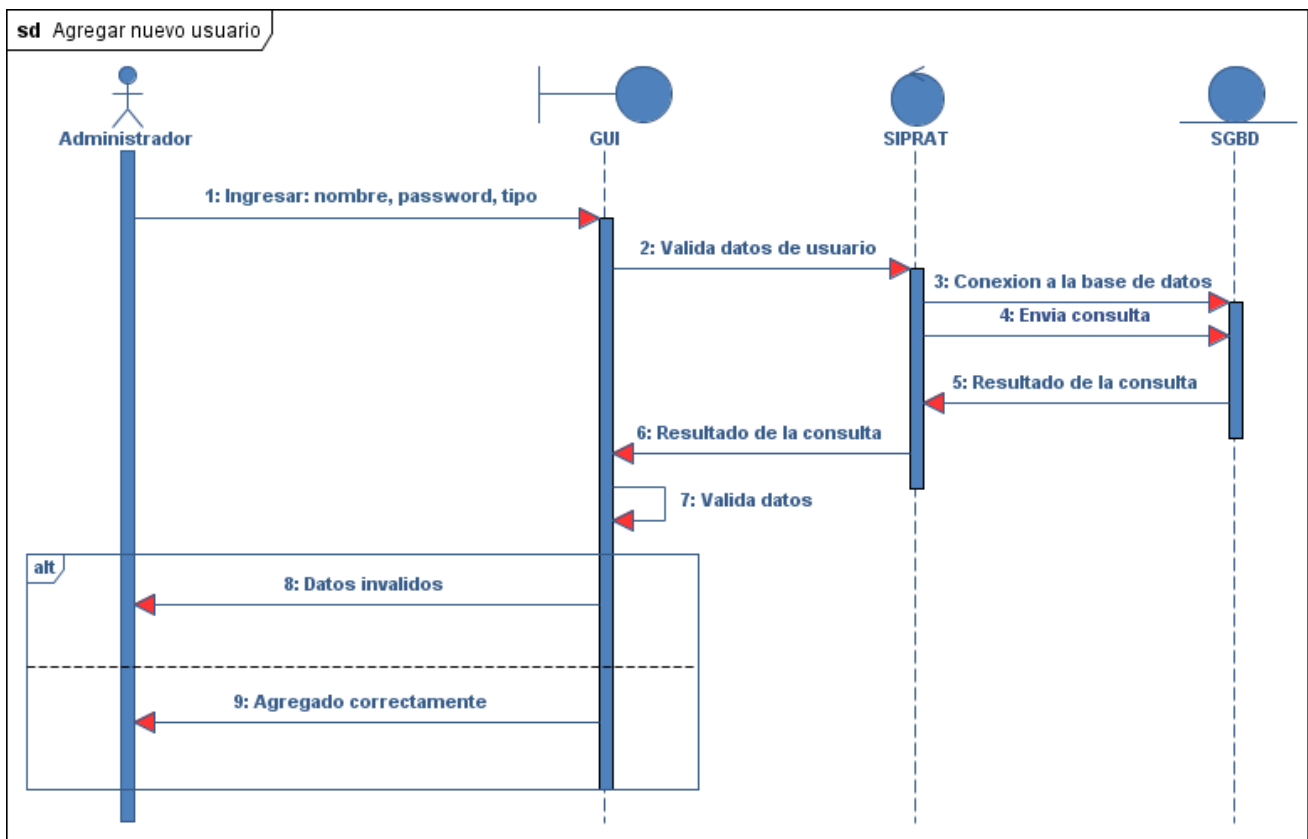


Figura 8.5 Diagrama de Secuencia Agregar usuario

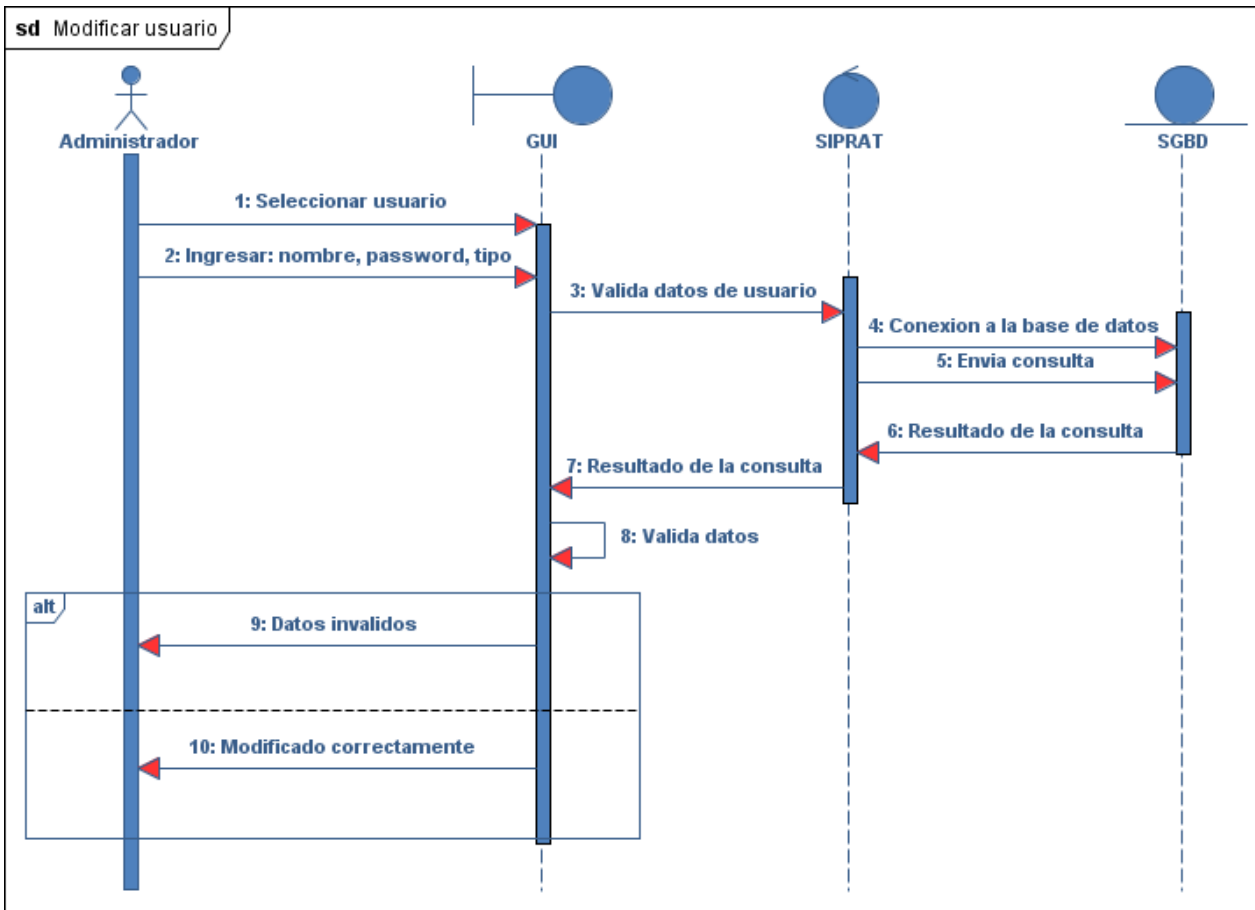


Figura 8.6 Diagrama de Secuencia Modificar Usuario

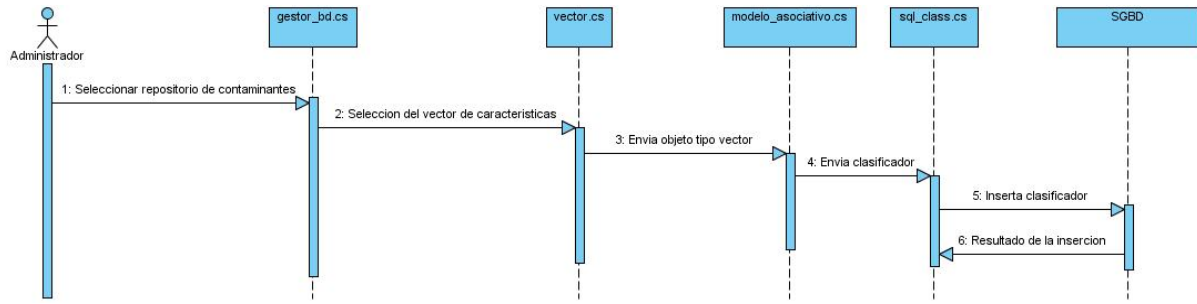


Figura 8.7 Diagrama de Secuencia Aprendizaje del Sistema

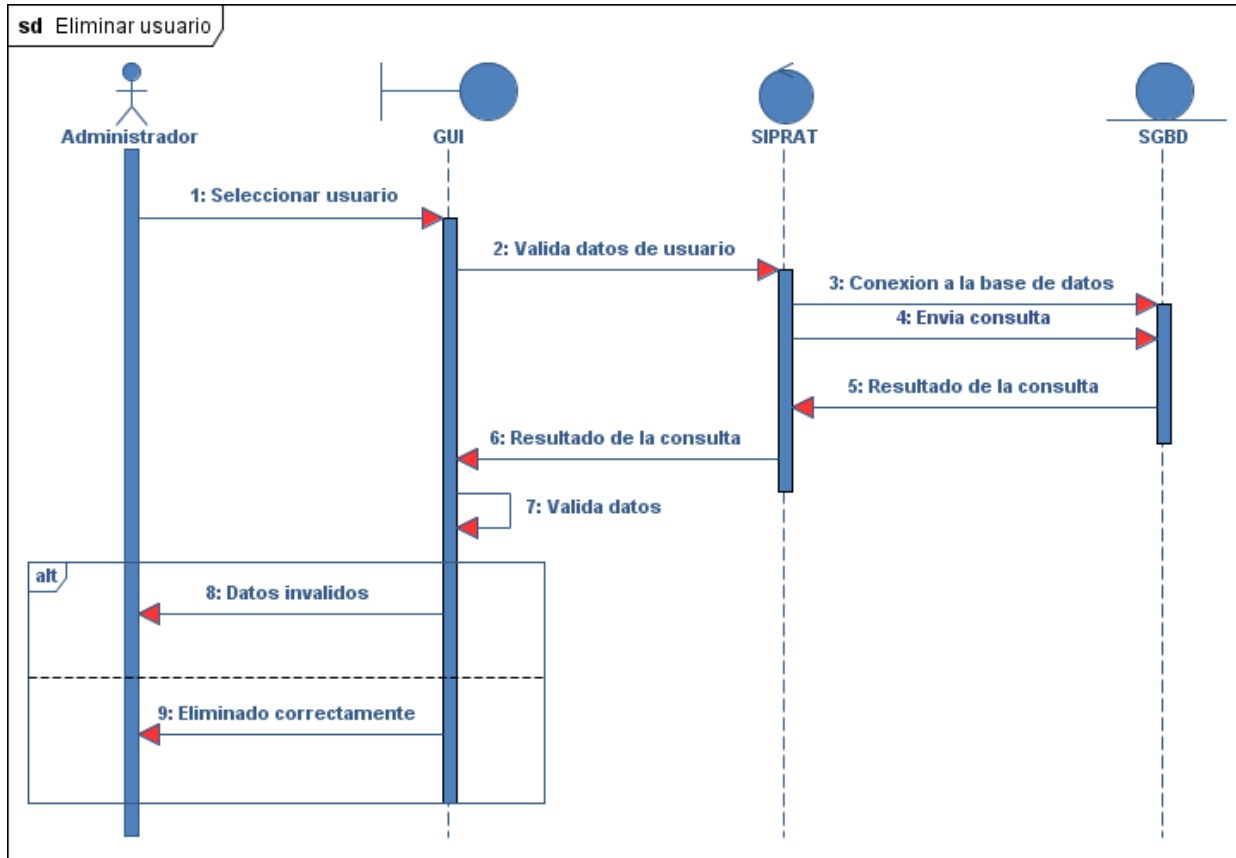


Figura 8.8 Diagrama de Secuencia Eliminar Usuario

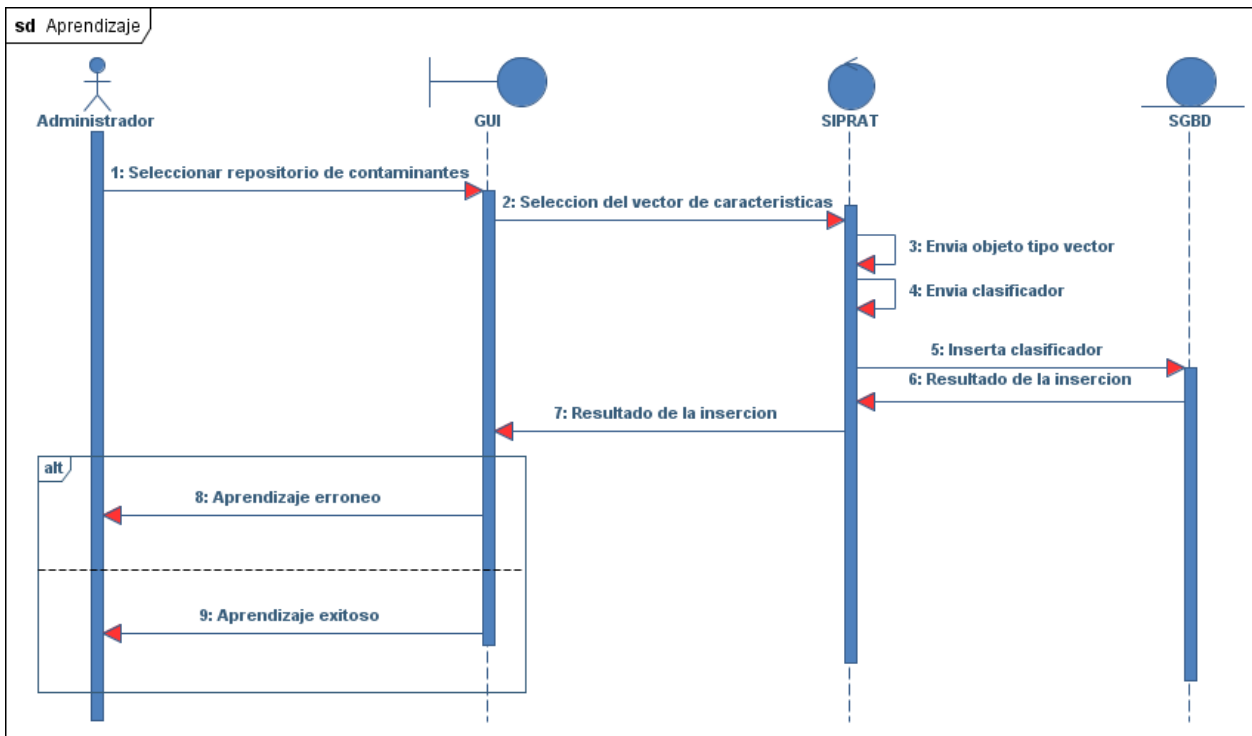


Figura 8.9 Diagrama de Secuencia Aprendizaje del Sistema

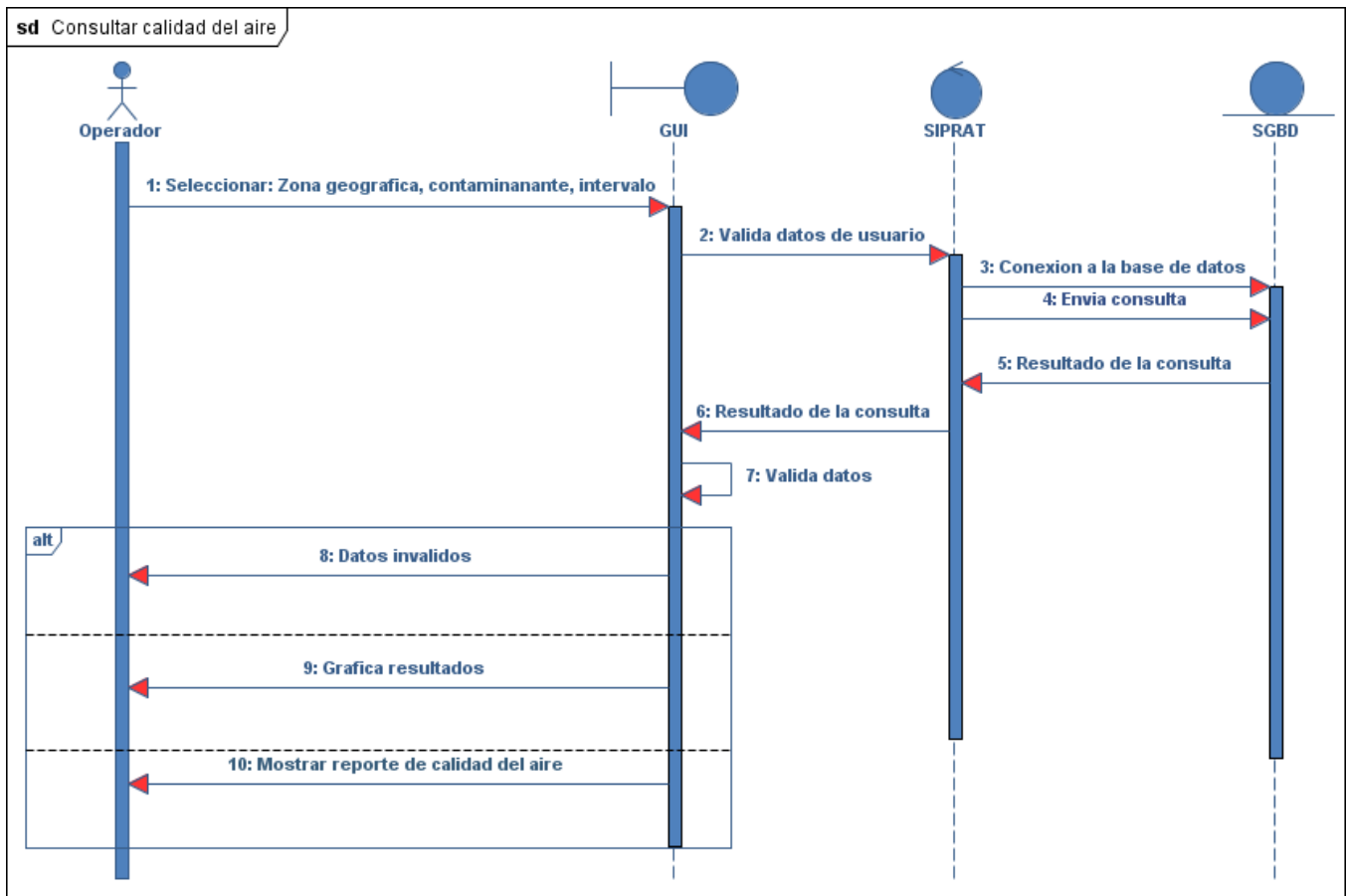


Figura 8.10 Diagrama de Secuencia Consultar Calidad del Aire



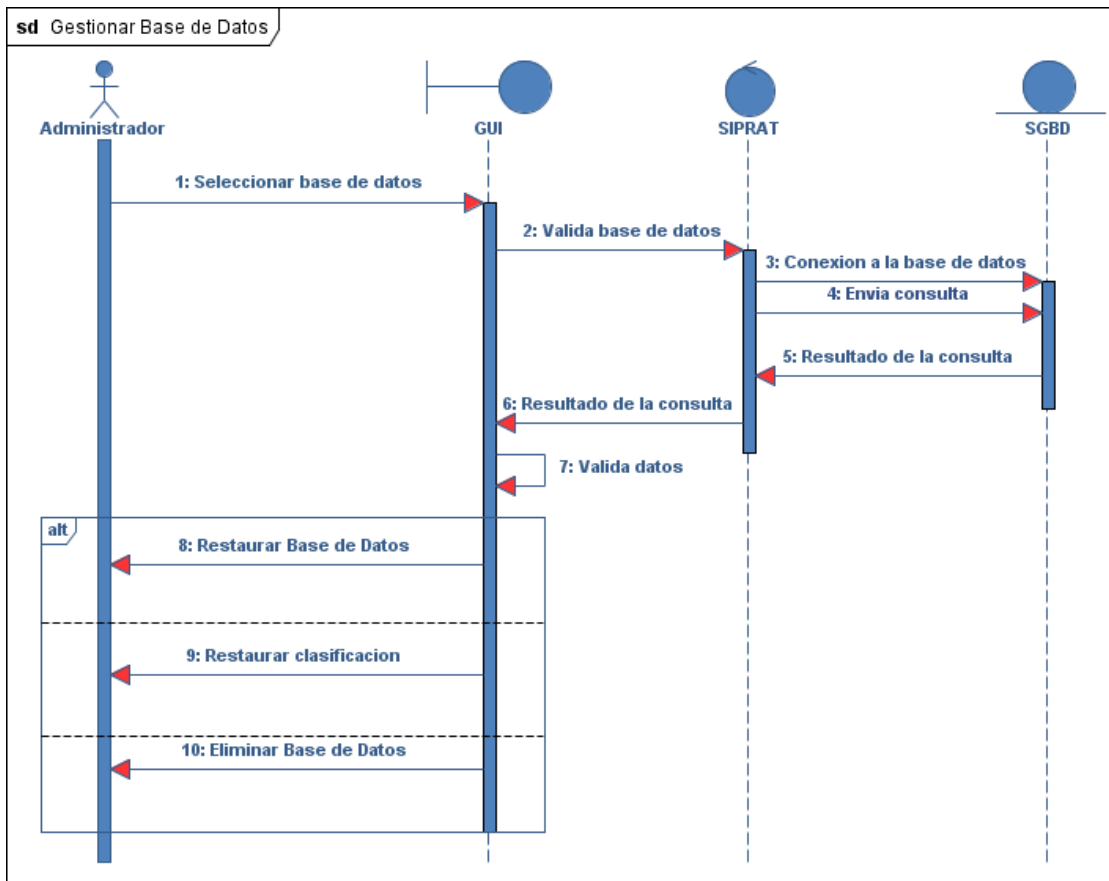


Figura 8.12 Diagrama de Secuencia Gestionar Base de Datos

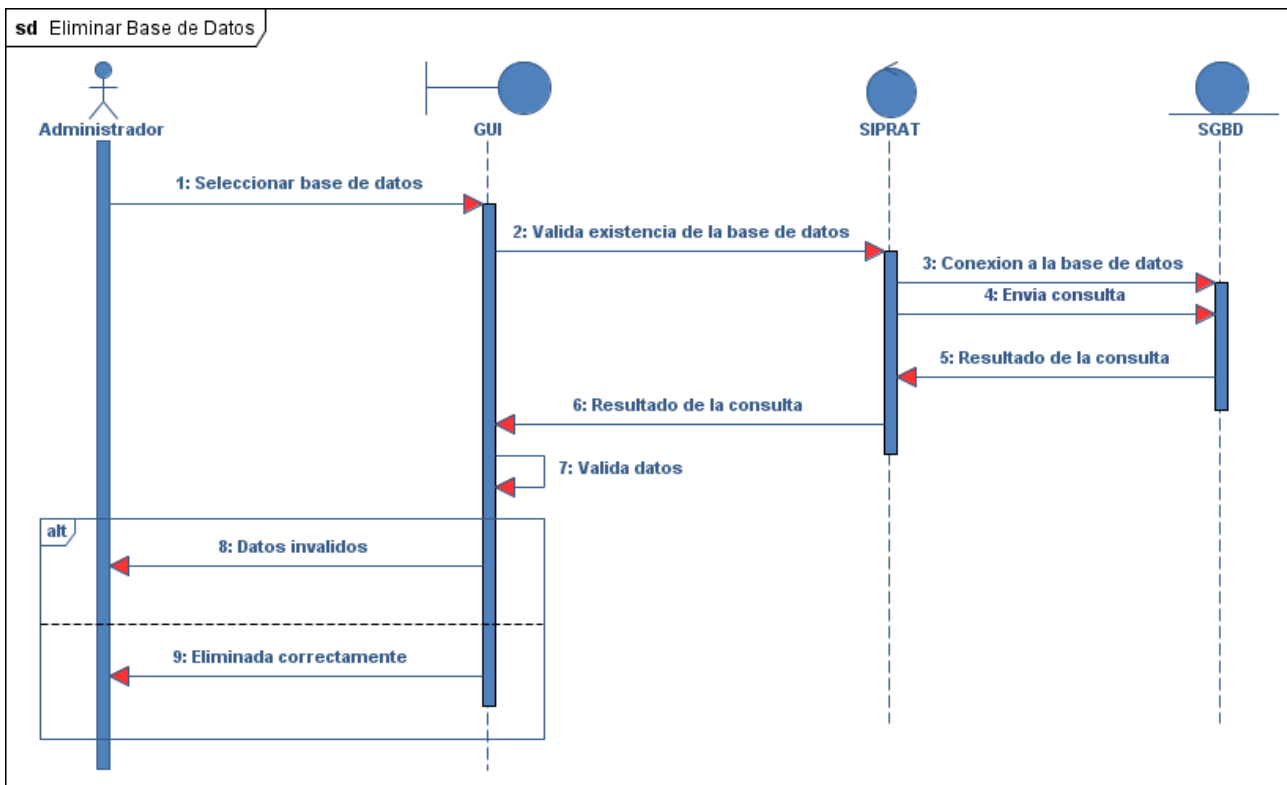


Figura 8.11 Diagrama de Secuencia Eliminar Base de Datos

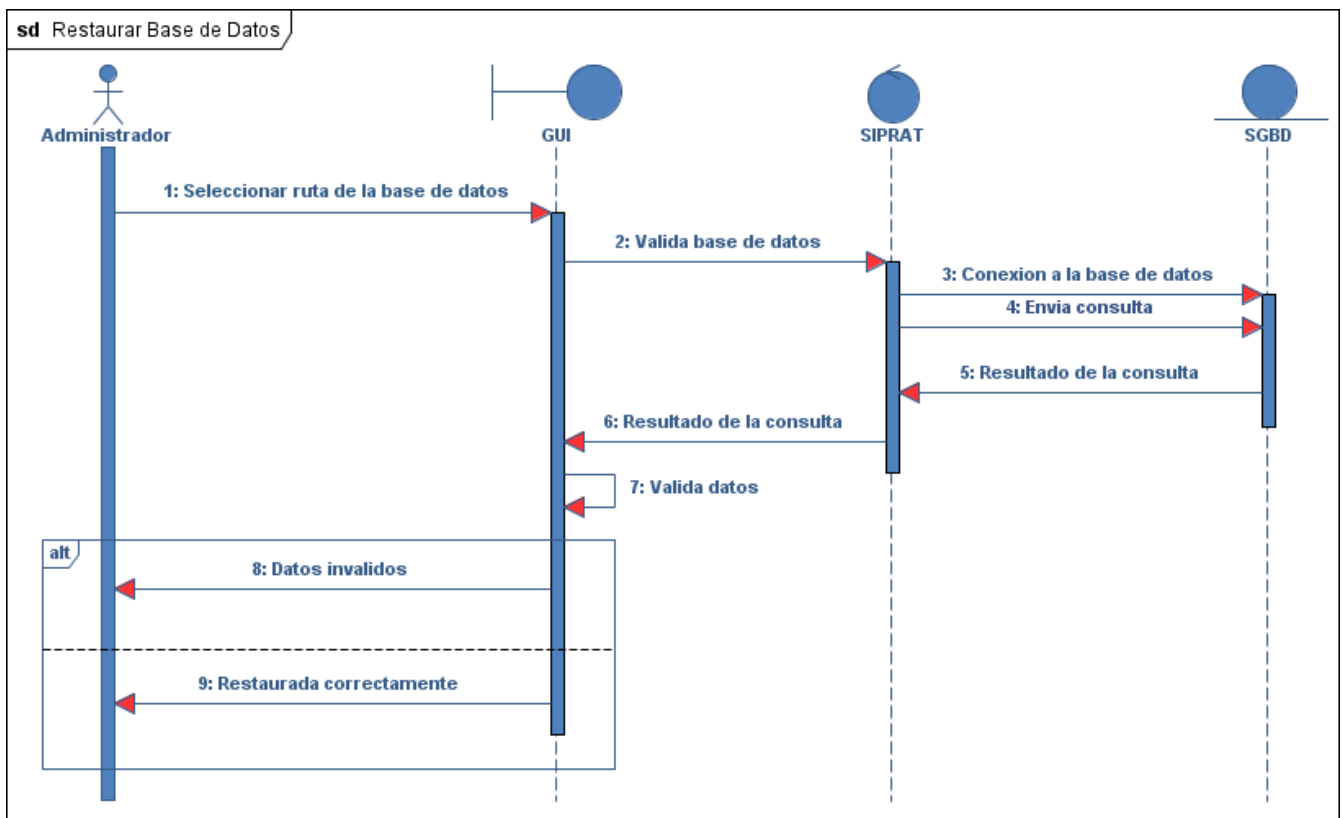


Figura 8.13 Diagrama de Secuencia Restaurar Base de Datos

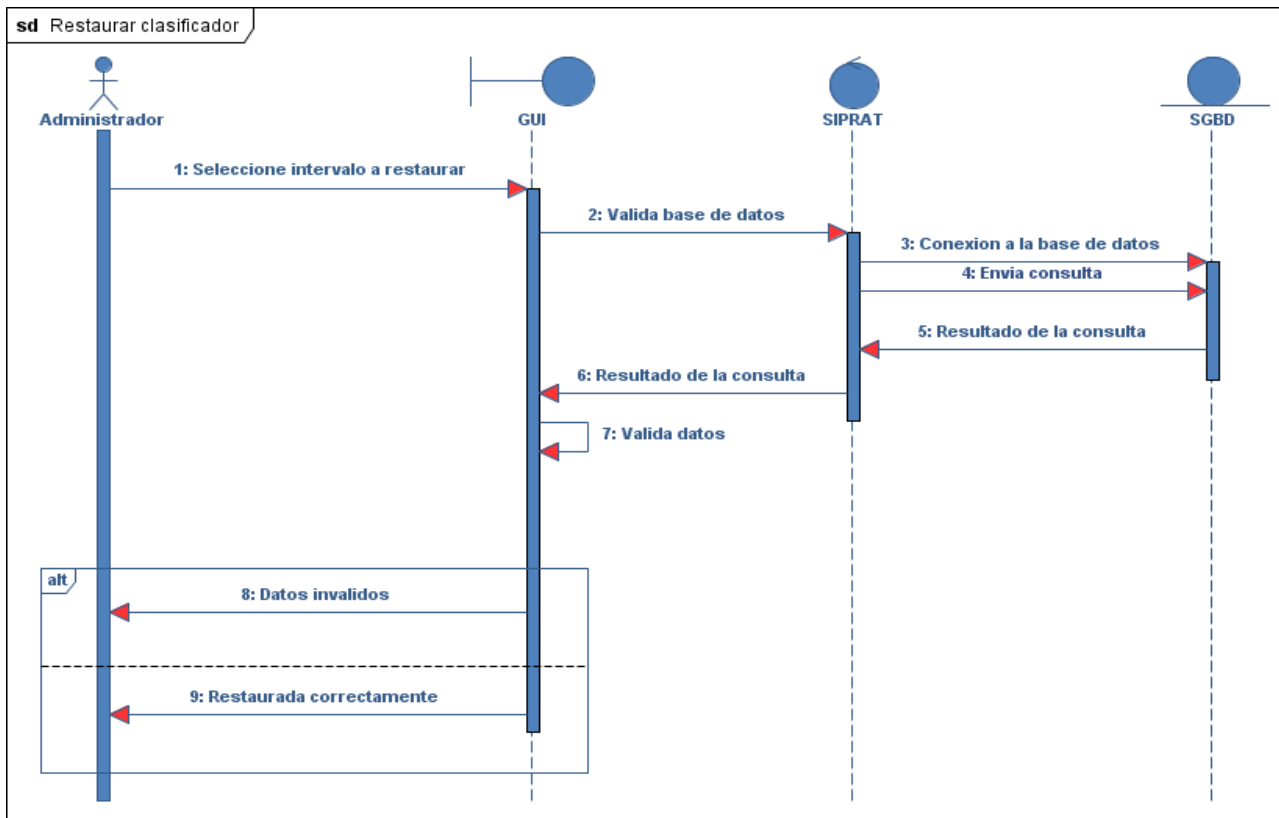


Figura 8.14 Diagrama de Secuencia Restaurar clasificador

## 8.4 Diagramas de Comunicación

Los diagramas de comunicación, modelan las interacciones entre objetos, en términos de mensajes secuenciales, dichos diagramas, se muestran a continuación:

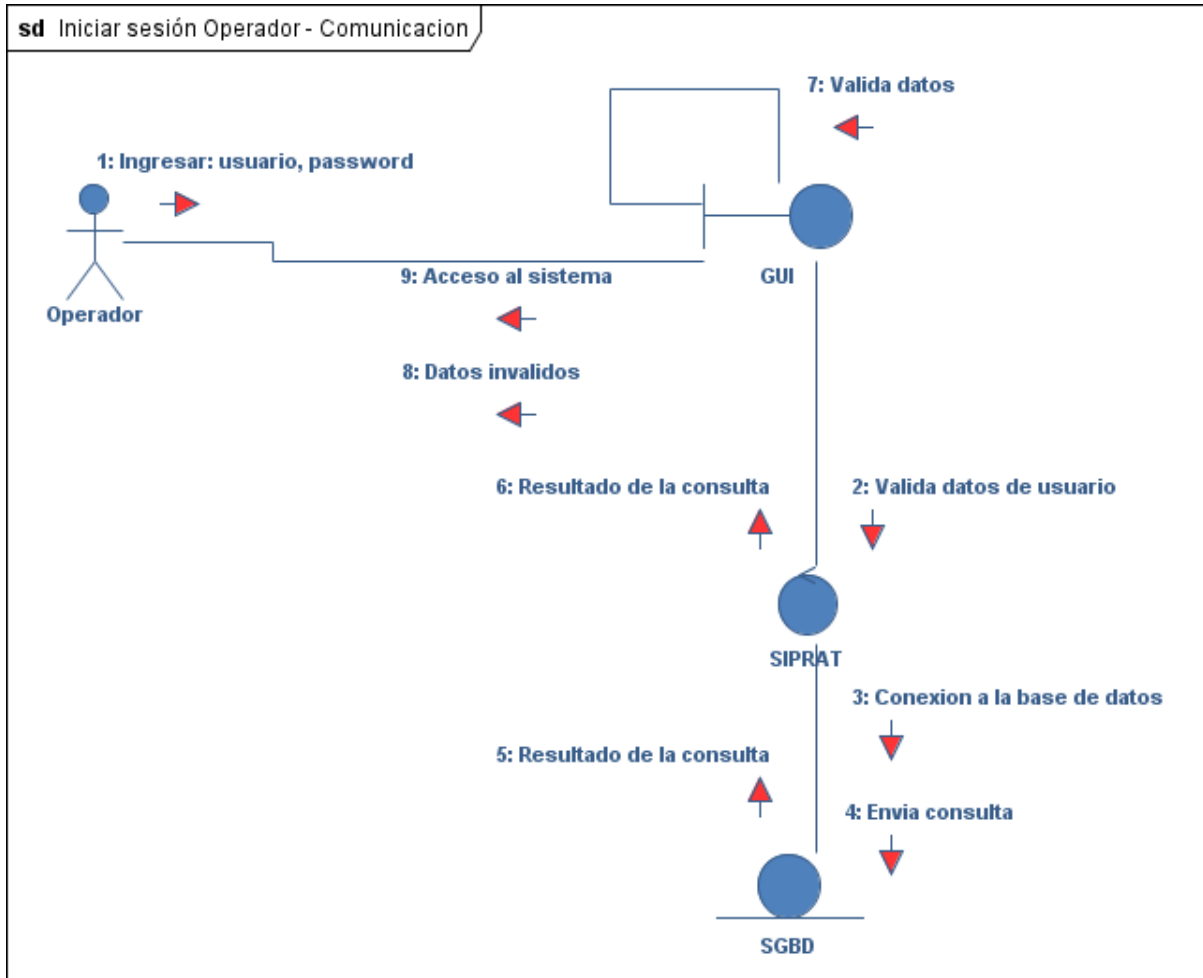


Figura 8.15 Diagrama de Comunicación Iniciar Sesión Operador

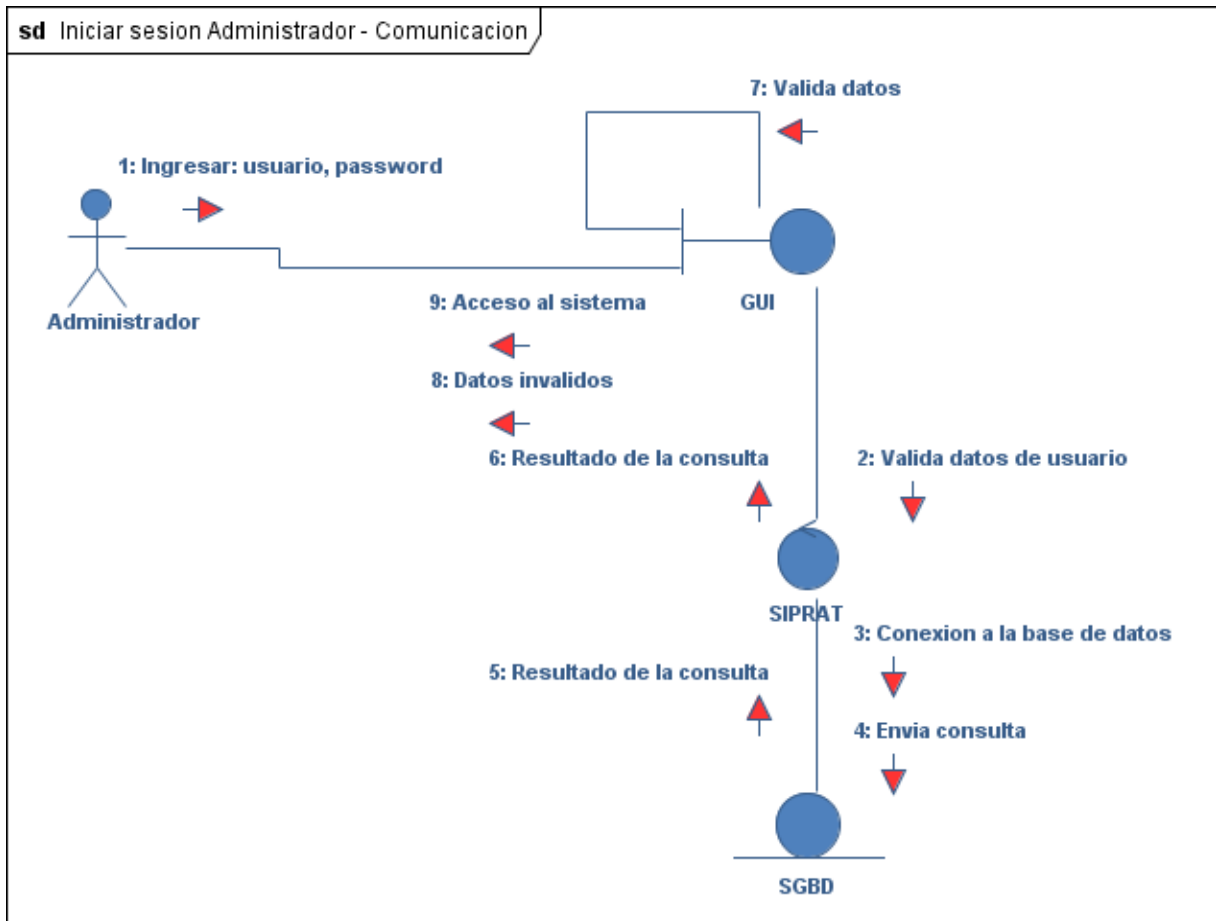


Figura 8.16 Diagrama de Comunicación Iniciar Sesión Administrador

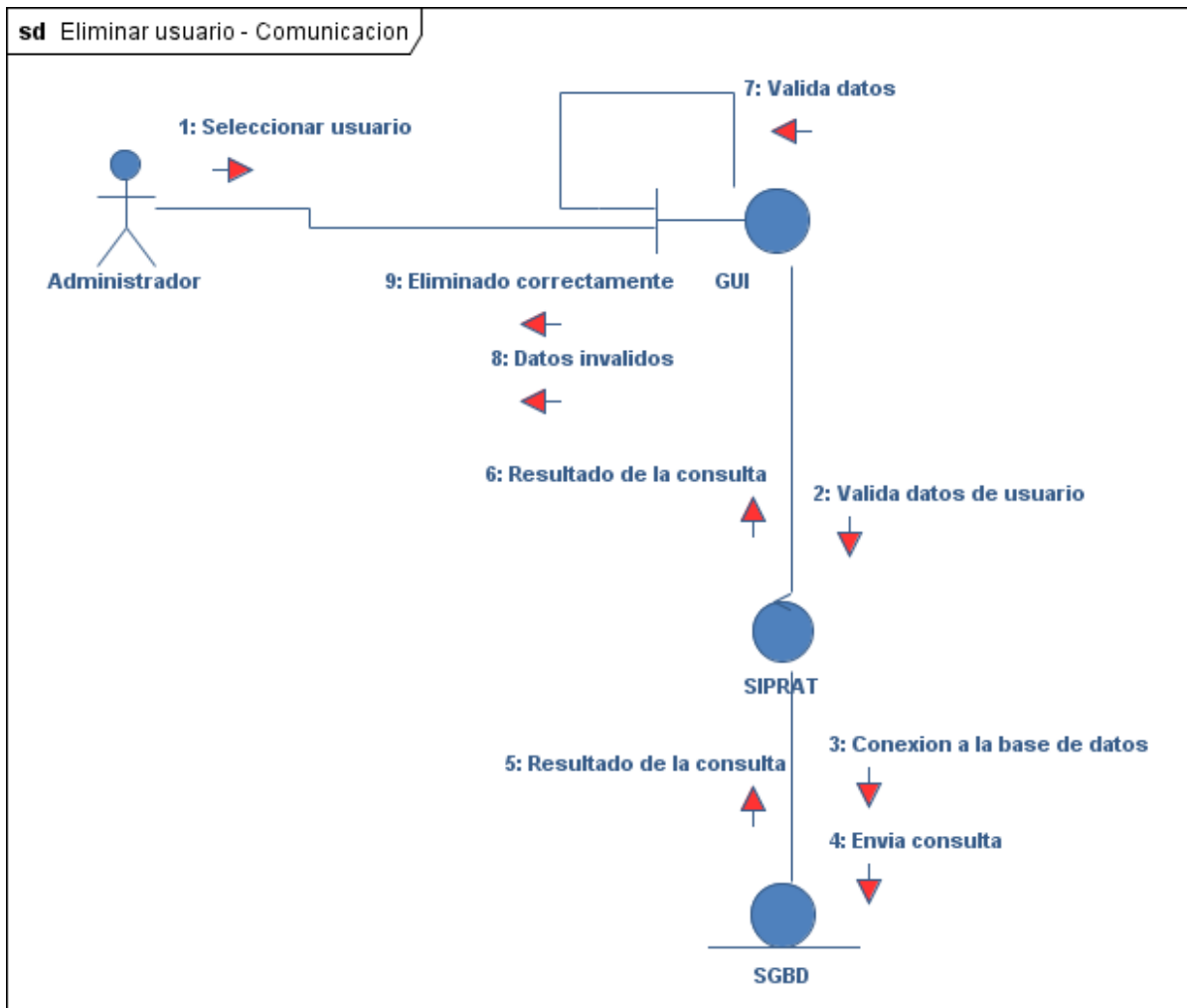


Figura 8.17 Diagrama de Comunicación Eliminar Usuario

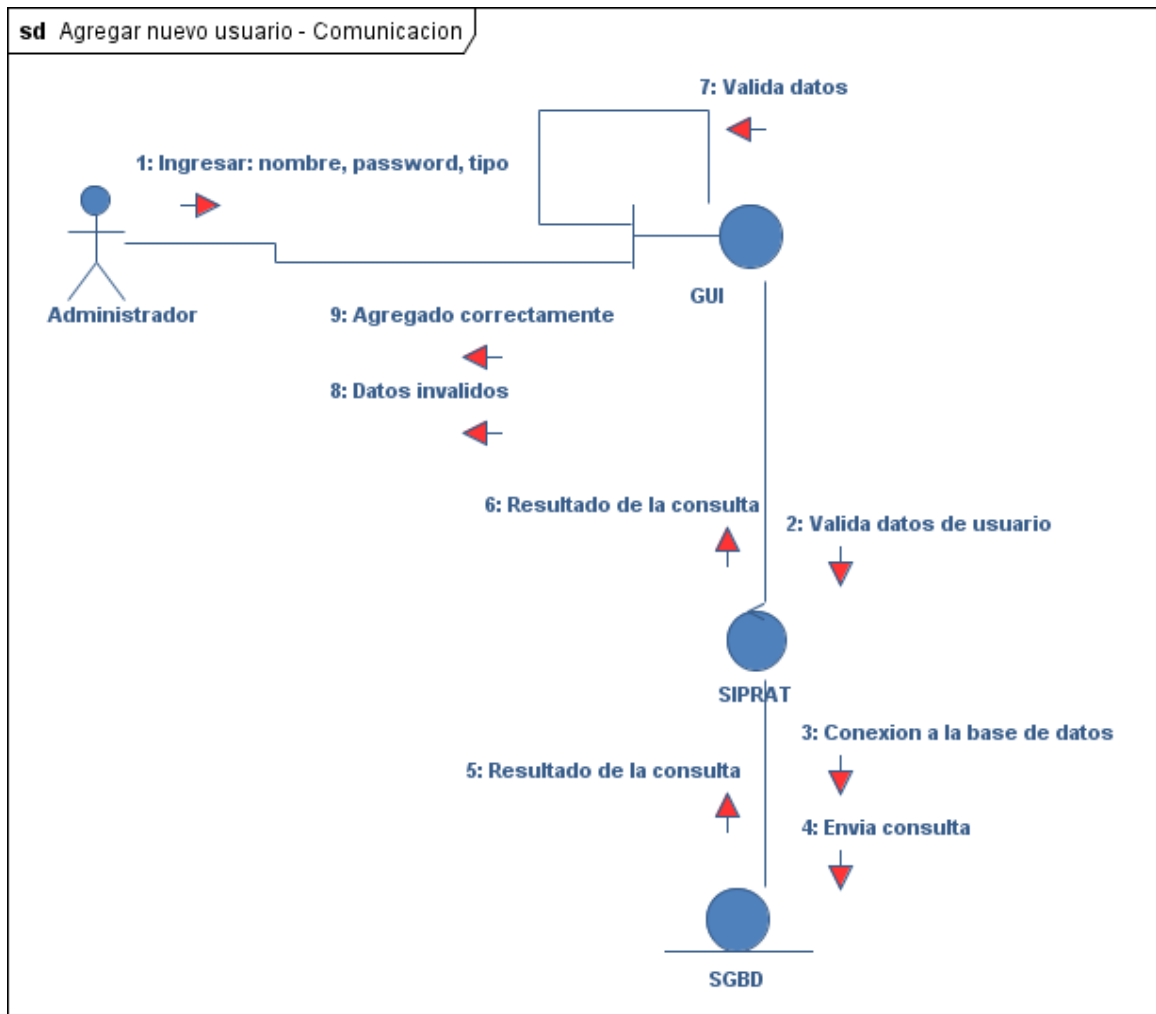


Figura 8.18 Diagrama de Comunicación Agregar Usuario

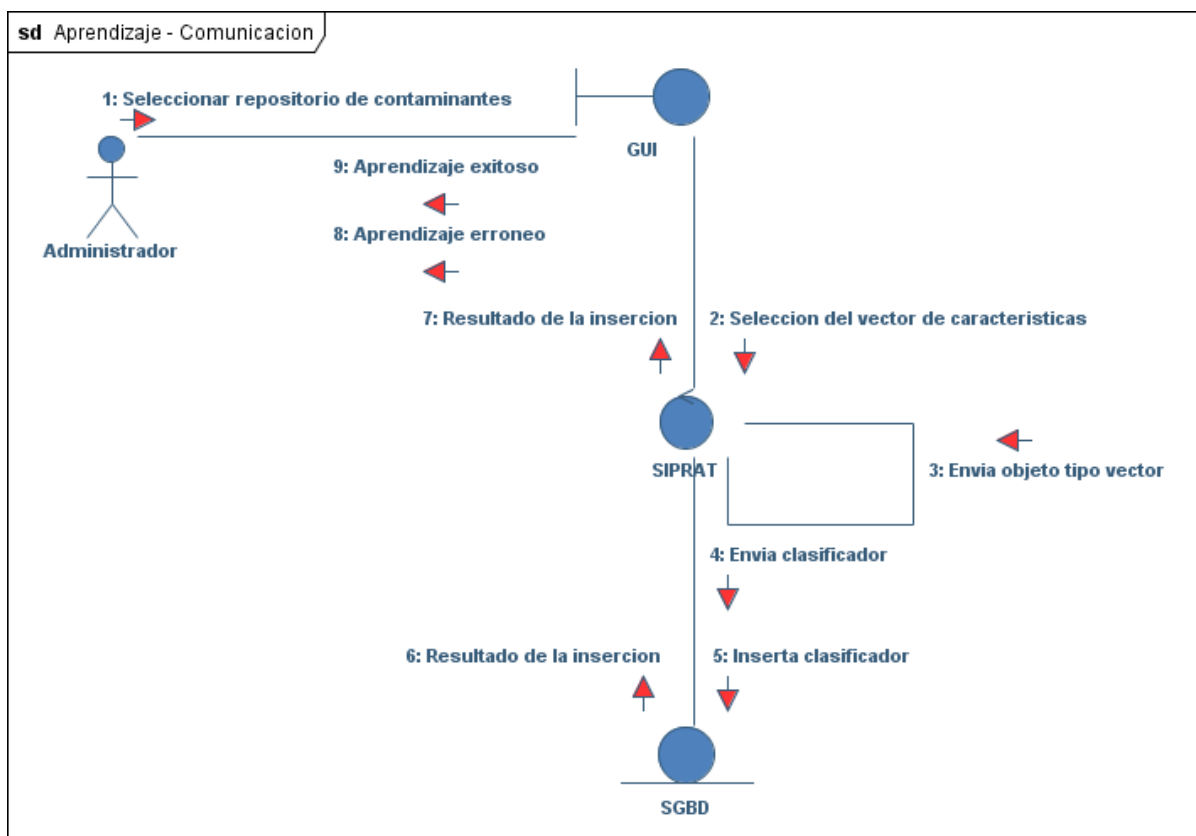


Figura 8.19 Diagrama de Comunicación Aprendizaje del Sistema



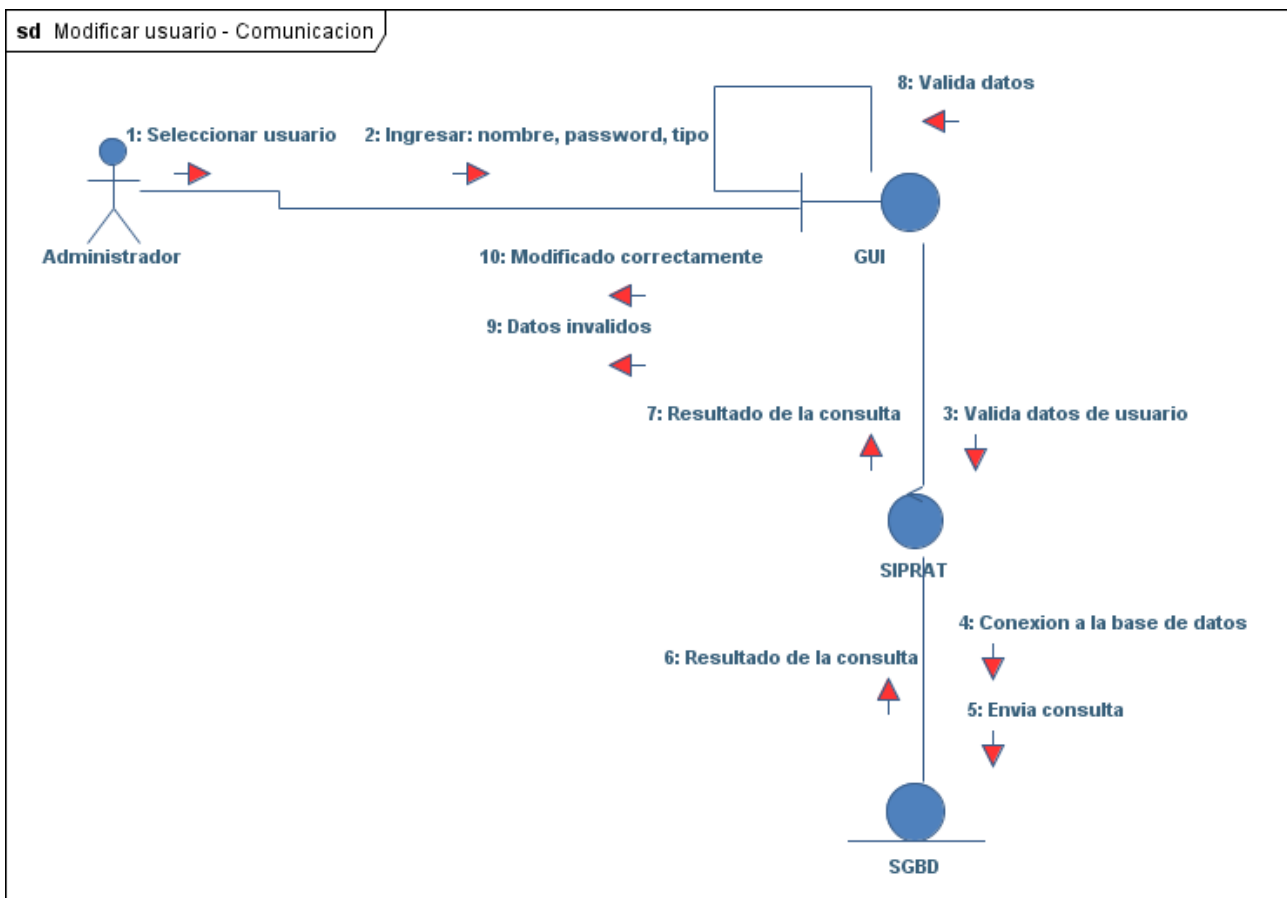


Figura 8.20 Diagrama de Comunicación Modificar usuario

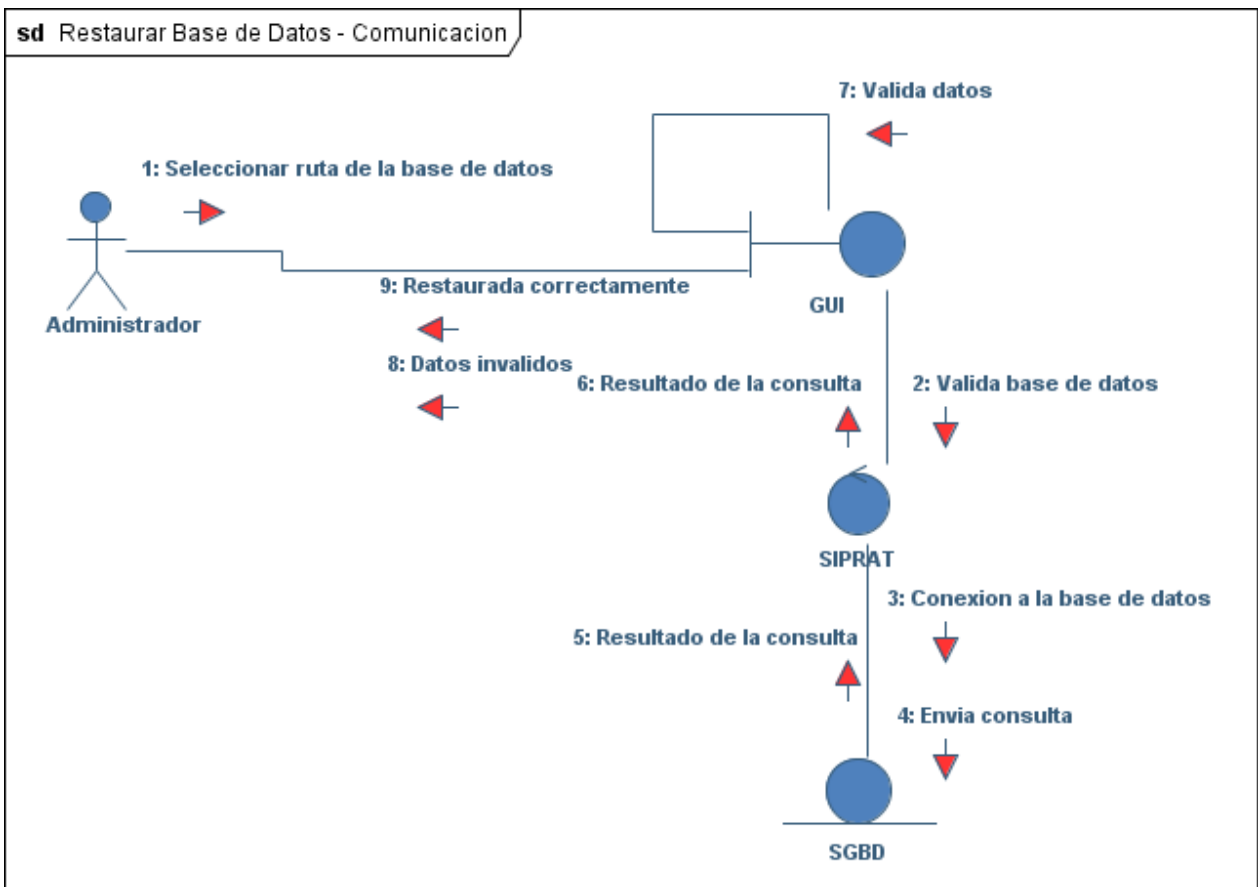


Figura 8.21 Diagrama de Comunicación Restaurar Base de Datos

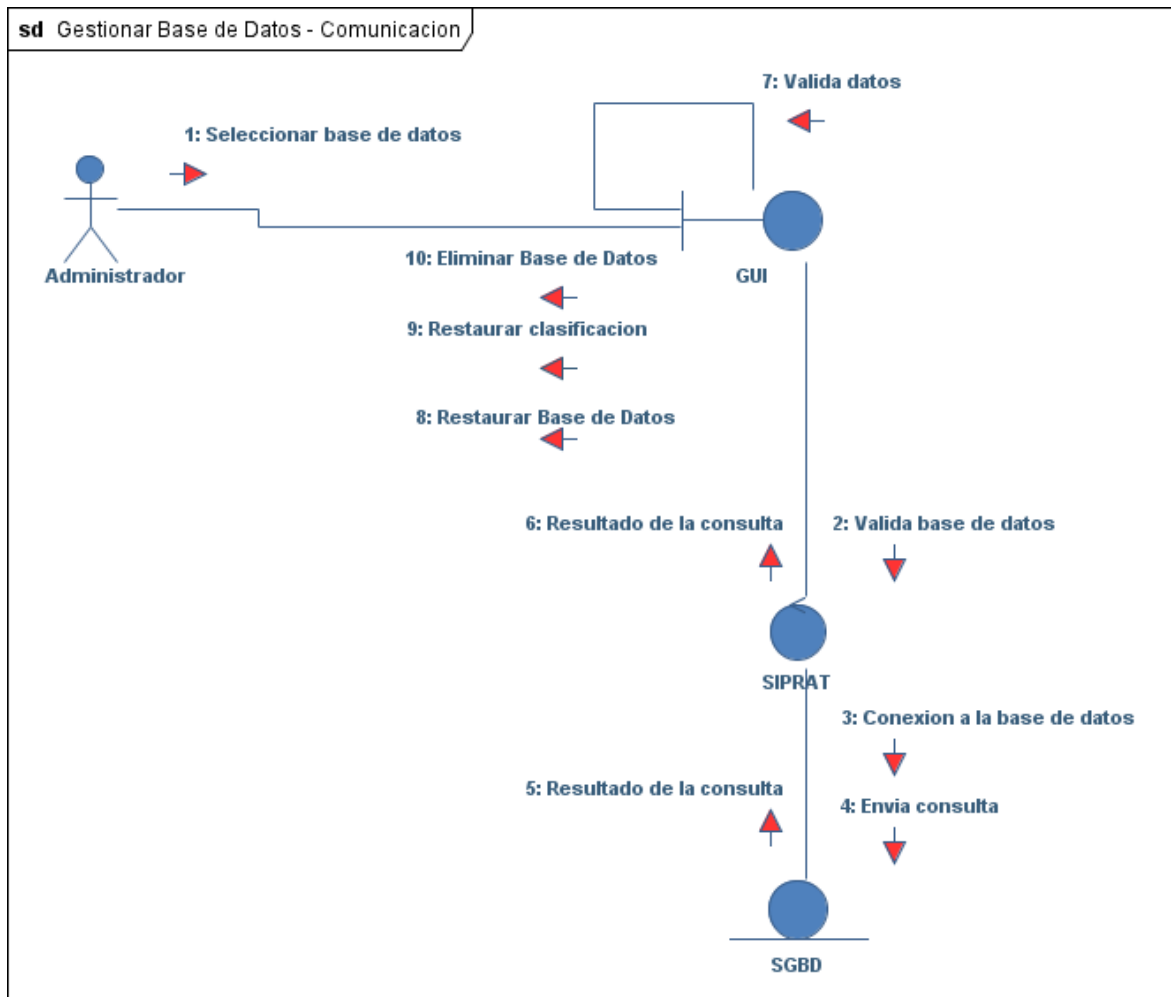


Figura 8.22 Diagrama de Comunicación Gestionar Base de Datos

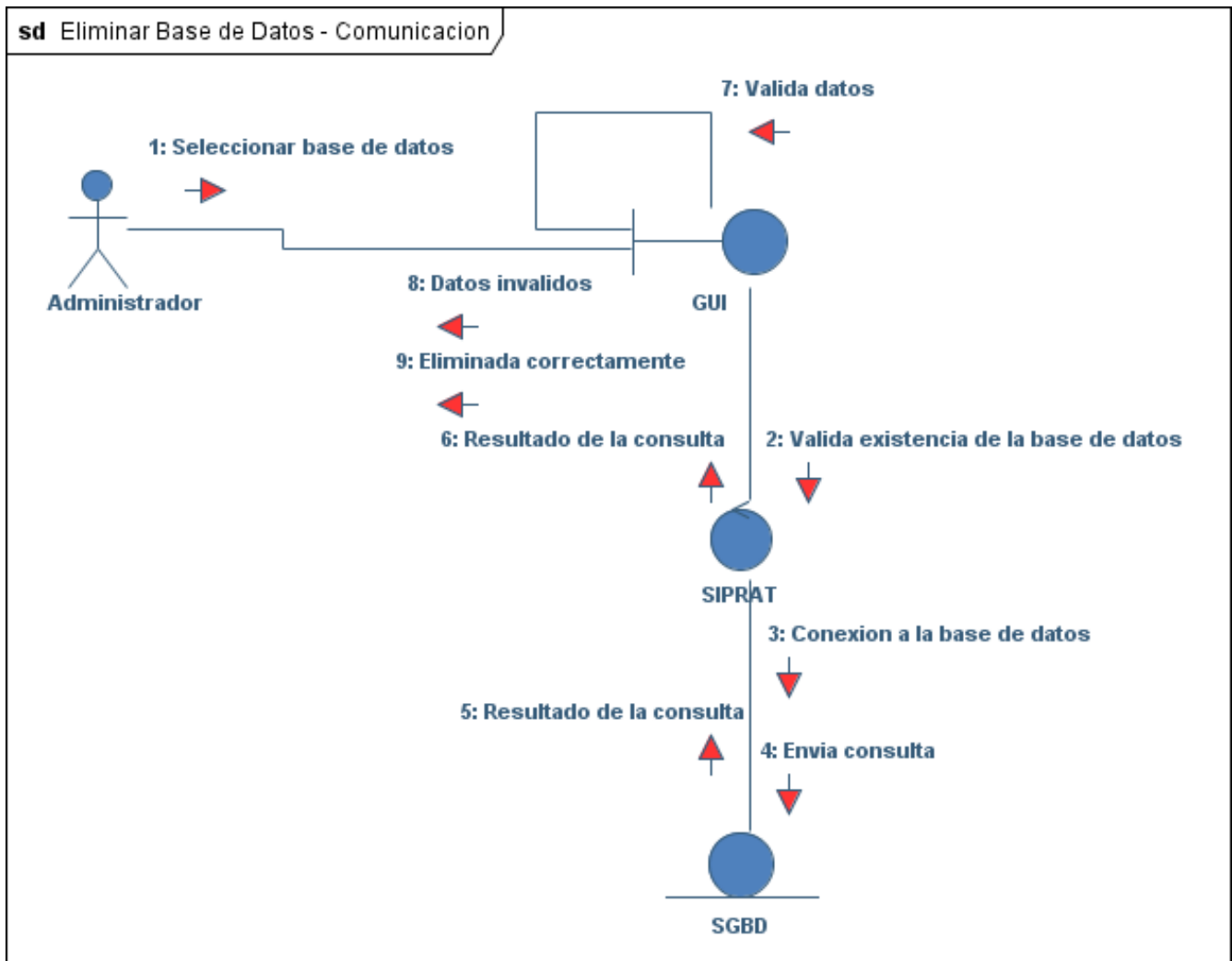


Figura 8.23 Diagrama de Comunicación Eliminar Base de Datos

## 8.5 Diagrama de Máquina de Estados

El diagrama de máquina de estados, modela el comportamiento de un solo objeto, especificando la secuencia de eventos que un objeto atraviesa durante su tiempo de vida en respuesta a los eventos, a continuación se muestra el diagrama de máquina de estados para el objeto Modelo Asociativo.

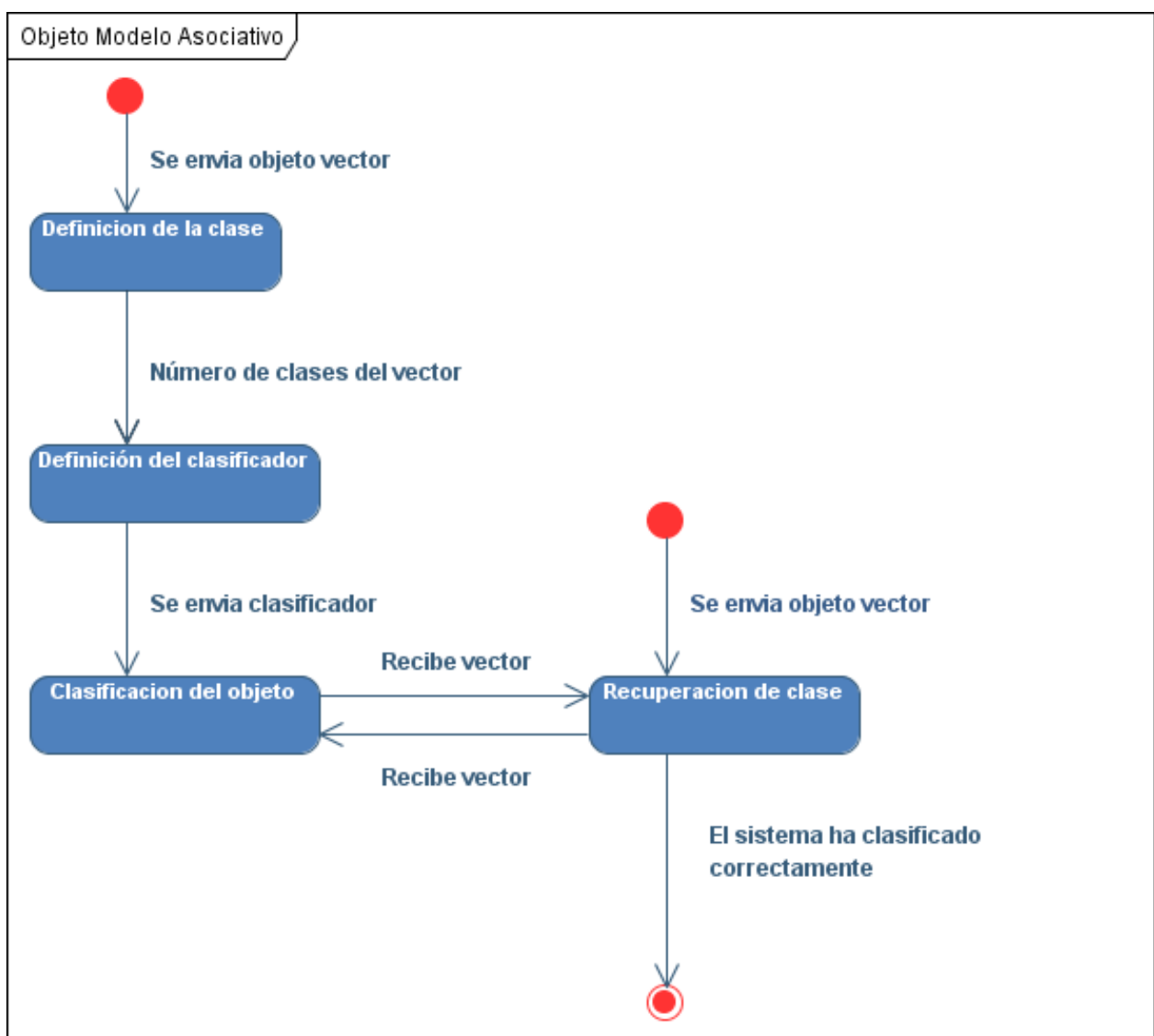
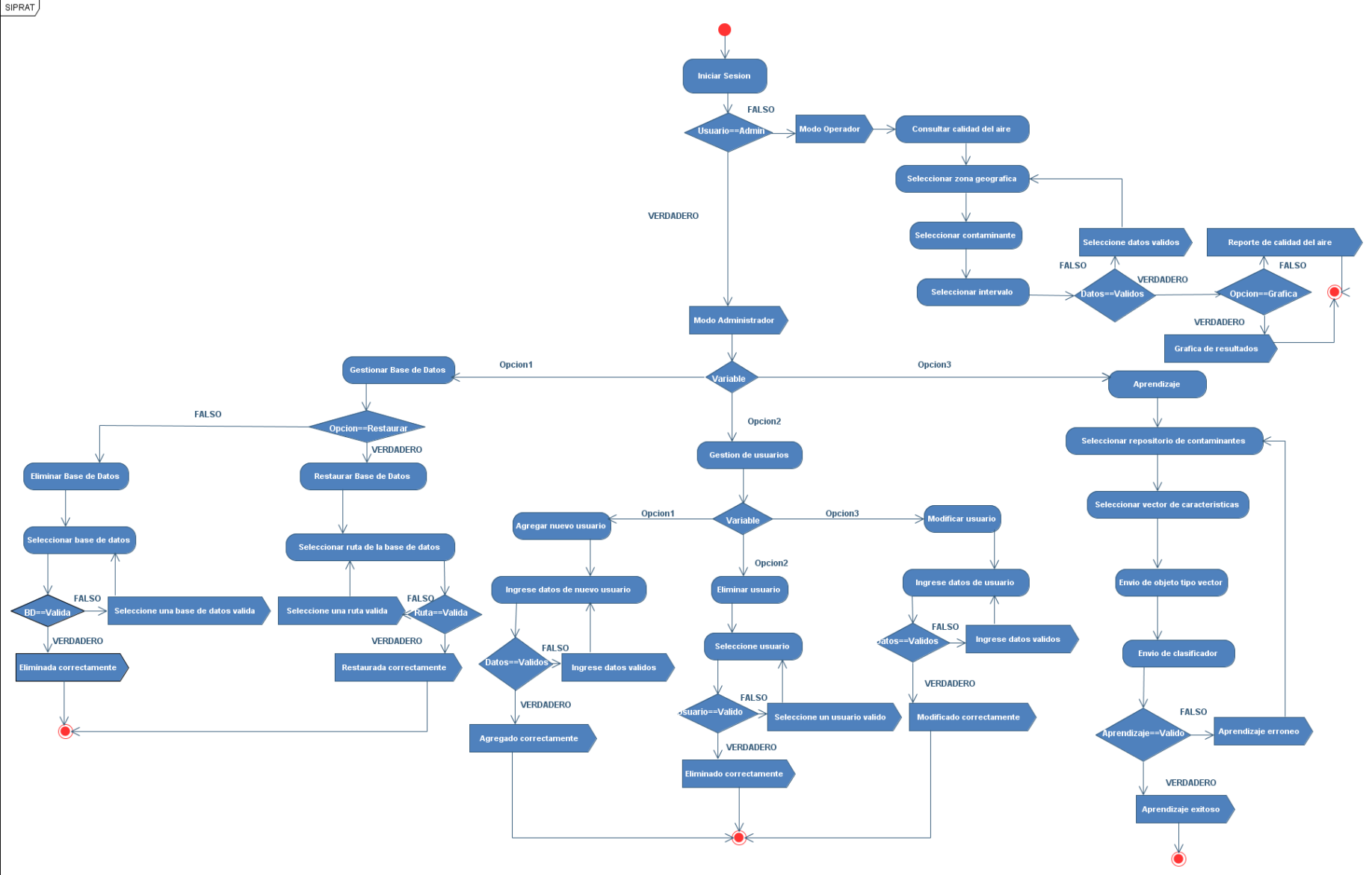


Figura 8.24 Diagrama de Máquina de Estados

# 8.6 Diagrama de Actividades



## 8.7 Diseño físico de los datos

A continuación se muestra el diseño físico de los datos que compondrán la base de datos, que satisface el almacenamiento de información del cual hará uso el sistema “SIPRAT”

| Nombre Relación: usuario  |              |          |            |      |
|---|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Contiene la información de los usuarios registrados en el sistema. |              |          |            |      |
| Campo   | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idUsuario   | INT          | 10       |            | No   |
| nombreUsuario   | VARCHAR      | 45       |            | No   |
| apellidoPUsuario  | VARCHAR      | 45       |            | No   |
| apellidoMUsuario  | VARCHAR      | 45       |            | No   |
| emailUsuario  | VARCHAR      | 45       |            | No   |
| password  | VARCHAR      | 45       |            | No   |
| idTipo  | INT          | 10       | idTipo_fk  | No   |

Tabla 8.3 Base de Datos SIPRAT, relación usuario

| Nombre Relación: tipo                                    |              |          |            |      |
|--|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Describe los 2 tipos de usuario del sistema |              |          |            |      |
| Campo  | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idTipo   | INT          | 10       |            | No   |
| nombreTipo   | VARCHAR      | 45       |            | No   |

Tabla 8.4 Base de Datos SIPRAT, relación tipo de usuarios

| Nombre Relación: contaminante  |              |          |            |      |
|--|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Describe los contaminantes que se analizarán en el sistema. |              |          |            |      |
| Campo  | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idContaminante   | INT          | 10       |            | No   |
| nombreContaminante   | VARCHAR      | 45       |            | No   |
| descripcion  | VARCHAR      | 45       |            | No   |

Tabla 8.5 Base de Datos SIPRAT, relación contaminante

| Nombre Relación: zona  |              |          |              |      |
|--|--------------|----------|--------------|------|
| Descripción: Describe las zonas que se analizarán en el sistema. |              |          |              |      |
| Campo  | Tipo de dato | Longitud | Constraint   | Null |
| idHistorico  | INT          | 10       |              | No   |
| idUsuario  | INT          | 10       | idUsuario_pk | No   |

Tabla 8.6 Base de Datos SIPRAT, relación usuario

| Nombre Relación: historico  |              |          |            |      |
|---|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Almacena las consultas que se han hecho en el sistema. |              |          |            |      |
| Campo   | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idHistorico   | INT          | 10       |            | No   |

|                |           |    |                   |    |
|----------------|-----------|----|-------------------|----|
| idUsuario      | INT       | 10 | idUsuario_pk      | No |
| idContaminante | INT       | 10 | idContaminante_pk | No |
| intervalo      | TIMESTAMP |    |                   | No |
| nivel          | INT       | 10 |                   | No |

Tabla 8.7 Base de Datos SIPRAT, Usuarios Histórico

| Nombre Relación: anual                            |              |          |                   |      |
|---|--------------|----------|-------------------|------|
| Descripción: Almacena los clasificadores anuales. |              |          |                   |      |
| Campo   | Tipo de dato | Longitud | Constraint        | Null |
| idAnual   | INT          | 10       |                   | No   |
| idZona  | INT          | 10       | idZona_pk         | No   |
| idContaminante                                    | INT          | 10       | idContaminante_pk | No   |
| tiempoInicial                                     | DATE         |          |                   | No   |
| tiempoFinal                                       | DATE         |          |                   | No   |
| clasificador                                      | BINARY       |          |                   | No   |

Tabla 8.8 Base de Datos SIPRAT, relación anual

| Nombre Relación: mes                               |              |          |            |      |
|--|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Almacena los clasificadores mensuales |              |          |            |      |
| Campo  | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idMes  | INT          | 10       |            | No   |
| idAnual  | INT          | 10       | idAño_pk   | No   |
| tiempoInicial                                      | DATE         |          |            | No   |
| tiempoFinal  | DATE         |          |            | No   |
| clasificador                                       | BINARY       |          |            | No   |

Tabla 8.9 Base de Datos SIPRAT, relación mes

| Nombre Relación: día  |              |          |            |      |
|---|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Almacena los clasificadores generados por día. |              |          |            |      |
| Campo   | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idDia   | INT          | 10       |            | No   |
| idMes   | INT          | 10       | idMes_pk   | No   |
| tiempoInicial   | DATE         |          |            | No   |
| tiempoFinal   | DATE         |          |            | No   |
| clasificador  | BINARY       |          |            | No   |

Tabla 8.10 Base de Datos SIPRAT, relación día

| Nombre Relación: hora  |              |          |            |      |
|--|--------------|----------|------------|------|
| Descripción: Almacena los clasificadores generados por hora. |              |          |            |      |
| Campo  | Tipo de dato | Longitud | Constraint | Null |
| idHoras  | INT          | 10       |            | No   |
| idDia  | INT          | 10       | idDia_pk   | No   |
| tiempoInicial  | DATE         |          |            | No   |



|              |        |  |  |    |
|--------------|--------|--|--|----|
| tiempoFinal  | DATE   |  |  | No |
| clasificador | BINARY |  |  | No |

Tabla 8.11 Base de Datos SIPRAT, relación hora

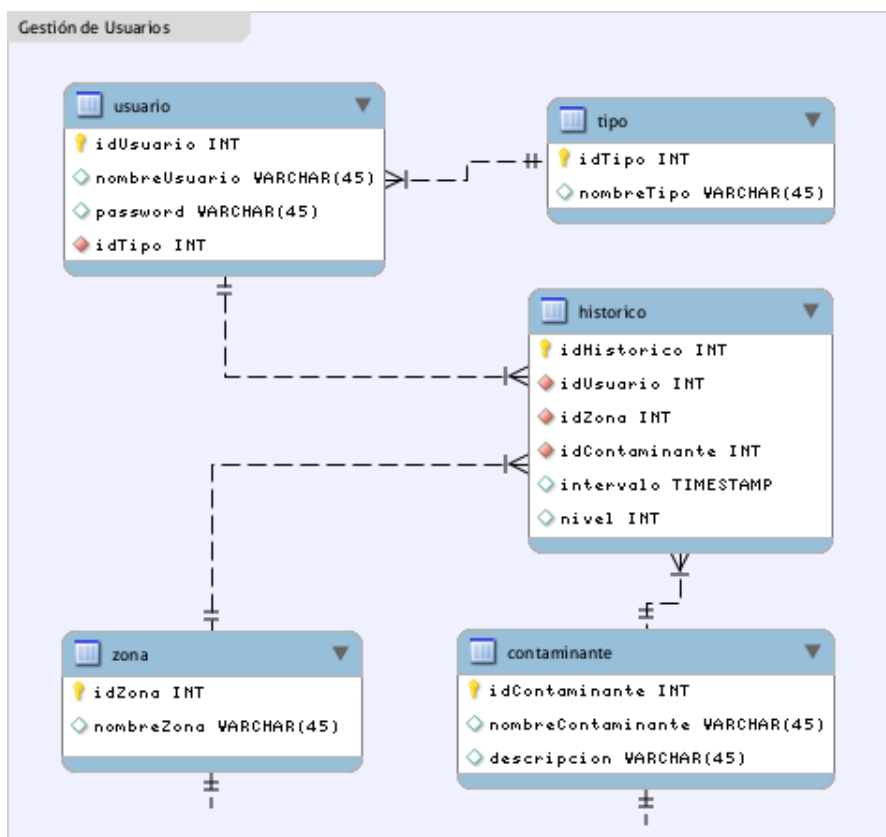


Figura 8.25 Diagrama relacional normalizado de la Base de Datos "SIPRAT"

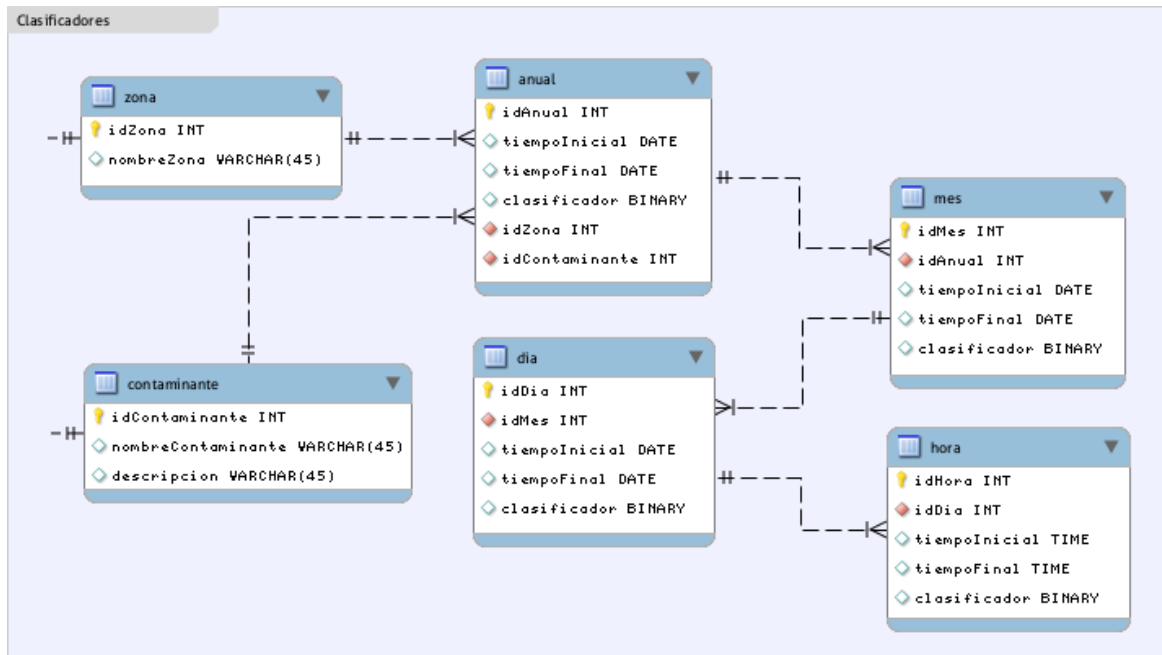


Figura 8.26 Diagrama relacional normalizado de la Base de Datos "SIPRAT"

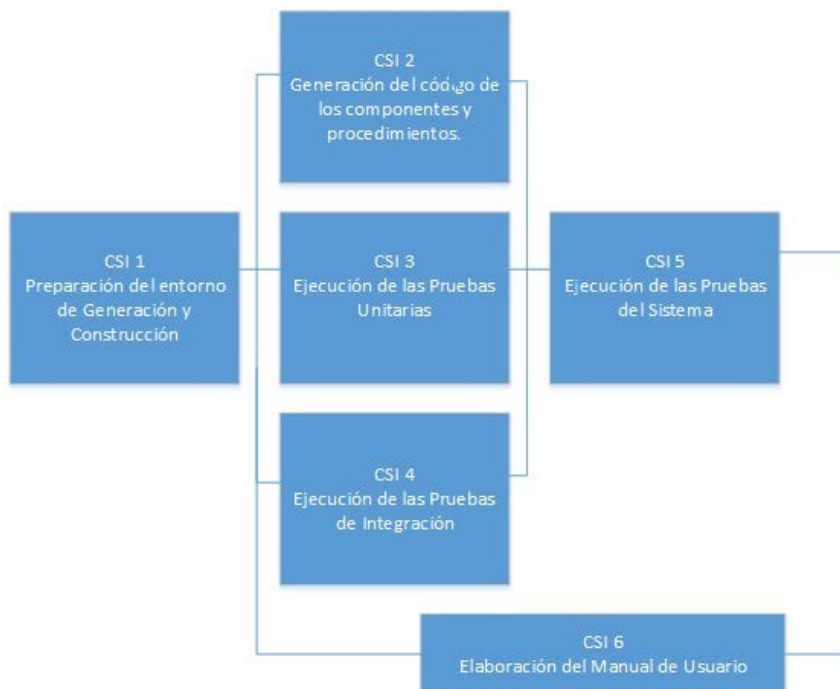
## Capítulo 9. Construcción del Sistema

La Construcción del Sistema de Información es la última etapa que se llevará a cabo para la realización del proyecto, adaptándose al tamaño de éste y a los requerimientos del sistema enlistados anteriormente.

El proceso a seguir para la Construcción del Sistema de Información se divide en 6 actividades las cuales son:

- Preparación del entorno y construcción
- Generación del código de los componentes y procedimientos
- Ejecución de las pruebas unitarias
- Ejecución de las pruebas de Integración
- Ejecución de las Pruebas del Sistema
- Elaboración de manual de usuario

En la figura 9.26 se muestra la relación entre cada una de las actividades enlistas anteriormente.



*Figura 9.1 Adaptación para la Construcción del Sistema de Información*

El objetivo de esta actividad es asegurar la disponibilidad de todos los medios y facilidades para que se pueda llevar a cabo la construcción del sistema de información.

## 9.1 Preparación del entorno

Para la realización del sistema se requiere de las siguientes herramientas:

- PC con *Windows 7 Professional*
- *.NET Framework 4.0* o superior
- *Visual Studio 2012* o superior
- *PostgreSQL*

## 9.2 Implantación física de la Base de Datos

El apartado 8.7 hace énfasis al Diseño físico de los datos, en dicha etapa se planteó el diagrama relacional de la base de datos para el sistema. Sin embargo, a raíz de diversas observaciones, se optó por hacer modificaciones al diseño planteado, con el objetivo de un mejor funcionamiento del sistema.

El diseño final de la base de datos se muestra en la siguiente figura 9.27.

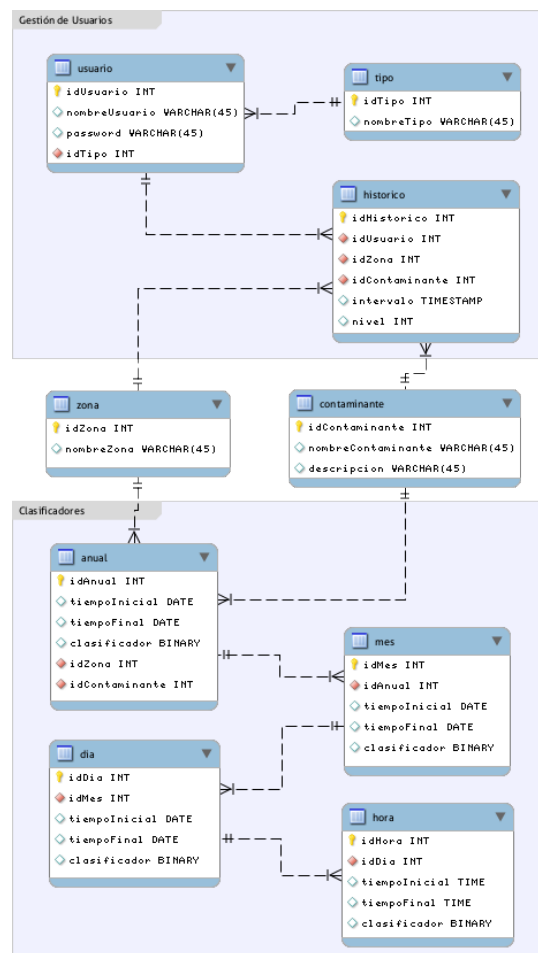


Figura 9.2 Diagrama relacional normalizado de la Base de Datos "SIPRAT"

### 9.3 Generación de componentes

Partiendo de los componentes planteados en la etapa de Diseño del Sistema, los módulos principales que integran el sistema son los siguientes:

- Módulo de Aprendizaje
- Módulo de Clasificación
- Módulo de Resultados

Además de dos módulos para llevar a cabo la gestión del sistema:

- Módulo de Gestión de Usuarios
- Módulo de Gestión de BD

A continuación se describe la forma en que fueron desarrollados estos módulos, cada uno de ellos con su respectiva interfaz de usuario.

Cabe mencionar que debido a la relación entre los módulos “Aprendizaje, Clasificación, Gestión de BD y Resultados”, se llevó a cabo el desarrollo de la siguiente manera.

- 1.- Gestión de BD
- 2.- Aprendizaje
- 3.- Clasificación
- 4.- Resultados

#### 9.3.1 Módulo de Gestión de Bases de Datos

El módulo de Gestión de Bases de Datos, tiene como principal función administrar los repositorios de datos que contienen la información que describe los parámetros IMECA para cada uno de los 5 contaminantes en cada una de las 5 zonas las 24 horas del día cada uno de los 365 días del año. De modo que sirvan de entrada al módulo de Aprendizaje y Clasificación.

##### 9.3.1.2 Tratamiento de información

Para observar de manera gráfica el comportamiento real de los contaminantes, se llevó a cabo una aproximación polinomial, el resultado obtenido de esta aproximación fue un polinomio (que se describe gráfica y matemáticamente en este apartado), con el cual se llevará a cabo una comparación contra el resultado de la clasificación obtenida con el modelo asociativo empleado.

Dado que al comparar el resultado arrojado por el modelo asociativo y el comportamiento real (descrito por el polinomio) conoceremos el porcentaje de error de la clasificación brindada por el sistema.

Dicha aproximación se llevó a cabo mediante el uso de la función *Interpolating polynomial*, método brindado por la herramienta de software *Mathematica*.

### 9.3.1.3 Interpolación polinomial

La interpolación polinomial es una técnica de interpolación de un conjunto de datos o bien de una función mediante un polinomio. Ya que dado cierto número de puntos se pretende encontrar un polinomio que describa la secuencia de puntos.

En la herramienta *Mathematica* consta de la siguiente estructura:

$$\text{InterpolatingPolynomial}\{f_1, f_2, f_3, \dots, x\}$$

### 9.3.1.4 Uso de la herramienta *Mathematica*

Se busca conocer el comportamiento del contaminante Ozono el día 1 de enero del año 2013.

Por lo cual *InterpolatingPolynomial* se emplea de la siguiente manera:

- Ingresamos los datos reportados en las mediciones proporcionadas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) en la variable “data1”

```
data1={{1,3},{2,3},{3,4},{4,5},{5,9},{6,12},{7,9},{8,7},{9,7},{10,29},{11,29},{12,45},{13,55},{14,56},{15,63},{16,66},{17,56},{18,46},{19,36},{20,20},{21,12},{22,7},{23,6},{24,14}}
```

- Imprimimos en pantalla la gráfica con los puntos en la variable “data1” con el siguiente comando:

```
plotdata1 = ListPlot[data1, PlotStyle → PointSize[0.02]]
```



$$\begin{aligned}
& -24\,514\,739 + \frac{160\,581\,073\,374\,978\,401\,x}{1\,784\,742\,960} - \frac{24\,088\,675\,506\,665\,177\,819\,x^2}{165\,461\,788\,800} + \frac{94\,950\,139\,778\,563\,300\,118\,917\,x^3}{677\,566\,025\,136\,000} - \frac{448\,216\,899\,323\,475\,002\,902\,901\,x^4}{4\,927\,752\,910\,080\,000} + \\
& \frac{39\,838\,933\,514\,319\,388\,676\,083\,x^5}{933\,679\,498\,752\,000} - \frac{20\,157\,257\,027\,688\,484\,655\,813\,x^6}{1\,333\,827\,855\,360\,000} + \frac{99\,937\,842\,205\,483\,233\,407\,219\,x^7}{24\,008\,901\,396\,480\,000} - \frac{1\,285\,790\,927\,859\,653\,236\,753\,x^8}{1\,412\,288\,317\,440\,000} + \\
& \frac{23\,080\,040\,986\,896\,414\,377\,x^9}{143\,796\,628\,684\,800} - \frac{1\,823\,062\,200\,012\,377\,145\,127\,x^{10}}{79\,088\,145\,776\,640\,000} + \frac{39\,060\,572\,189\,980\,558\,829\,x^{11}}{14\,379\,662\,868\,480\,000} - \frac{3\,362\,660\,478\,843\,852\,019\,x^{12}}{12\,746\,807\,377\,920\,000} + \frac{2\,102\,938\,174\,337\,341\,421\,x^{13}}{99\,425\,097\,547\,776\,000} - \\
& \frac{4\,863\,178\,005\,885\,293\,x^{14}}{3\,476\,402\,012\,160\,000} + \frac{24\,060\,104\,662\,426\,253\,x^{15}}{316\,352\,583\,106\,560\,000} - \frac{534\,031\,673\,352\,461\,x^{16}}{158\,176\,291\,553\,280\,000} + \frac{65\,112\,542\,041\,369\,x^{17}}{537\,799\,391\,281\,152\,000} - \frac{441\,930\,029\,833\,x^{18}}{128\,047\,474\,114\,560\,000} + \\
& \frac{12\,663\,422\,749\,x^{19}}{165\,879\,682\,375\,680\,000} - \frac{18\,428\,799\,073\,x^{20}}{14\,597\,412\,049\,059\,840\,000} + \frac{300\,039\,263\,x^{21}}{20\,436\,376\,868\,683\,776\,000} - \frac{120\,318\,619\,x^{22}}{1\,124\,000\,727\,777\,607\,680\,000} + \frac{500\,713\,x^{23}}{1\,360\,632\,459\,941\,314\,560\,000}
\end{aligned}$$

Figura 9.4 Expansión de la aproximación polinomial efectuada con los parámetros "data1,x"

A continuación se muestra el comportamiento gráfico del contaminante OZONO el día 1 de enero del 2013 en la zona Noroeste con el polinomio reconstruido.

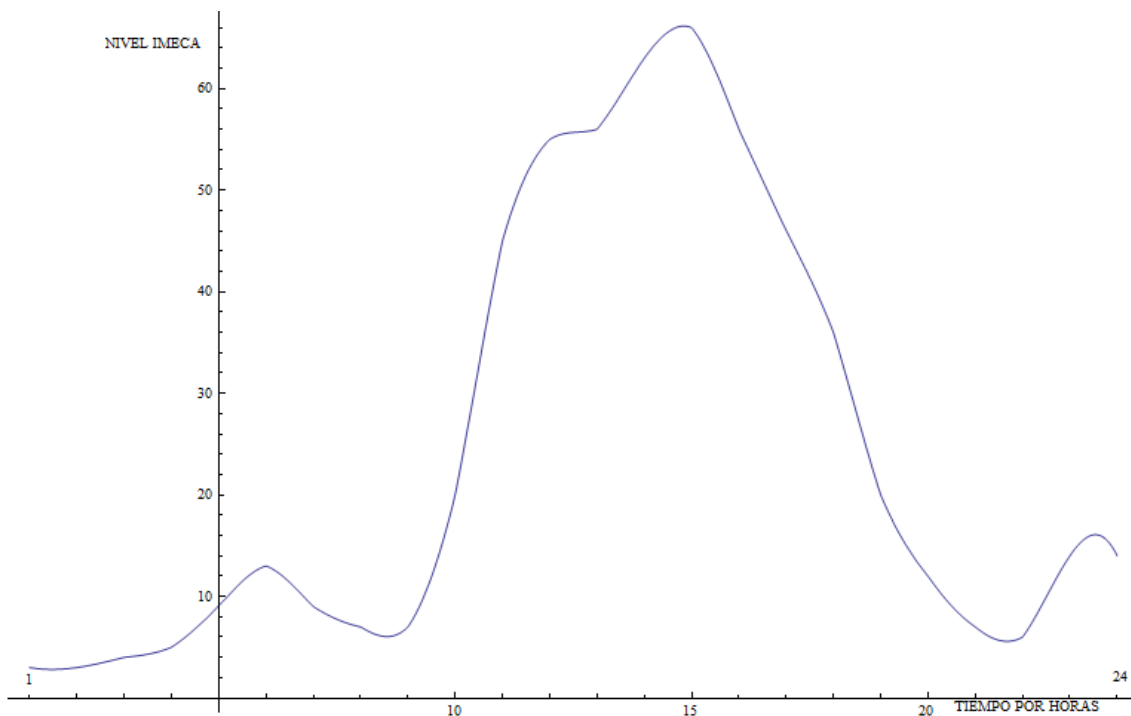


Figura 9.5 Reconstrucción del polinomio que describe el comportamiento del contaminante Ozono el día 1 de enero del 2013.

### 9.3.1.5 Tratamiento del repositorio de datos.

La estructura de los repositorios de datos proporcionados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) se describe en la siguiente tabla, enfatizando en el día 1 de enero del 2013.



| Fecha      | Hora | Noroeste Ozono | Noroeste dióxido de azufre | Noroeste dióxido de nitrógeno | Noroeste monóxido de carbono | Noroeste PM10 |
|------------|------|----------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------|
| 01/01/2013 | 1    | 3              | 2                          | 17                            | 10                           | 37            |
| 01/01/2013 | 2    | 3              | 3                          | 16                            | 12                           | 42            |
| 01/01/2013 | 3    | 4              | 3                          | 16                            | 15                           | 48            |
| 01/01/2013 | 4    | 5              | 3                          | 15                            | 17                           | 52            |
| 01/01/2013 | 5    | 9              | 4                          | 16                            | 20                           | 57            |
| 01/01/2013 | 6    | 13             | 4                          | 16                            | 22                           | 66            |
| 01/01/2013 | 7    | 9              | 4                          | 13                            | 23                           | 78            |
| 01/01/2013 | 8    | 7              | 4                          | 13                            | 23                           | 89            |
| 01/01/2013 | 9    | 7              | 5                          | 22                            | 24                           | 99            |
| 01/01/2013 | 10   | 20             | 5                          | 34                            | 24                           | 105           |
| 01/01/2013 | 11   | 45             | 5                          | 29                            | 24                           | 110           |
| 01/01/2013 | 12   | 55             | 5                          | 15                            | 22                           | 112           |
| 01/01/2013 | 13   | 56             | 5                          | 10                            | 18                           | 111           |
| 01/01/2013 | 14   | 63             | 5                          | 8                             | 15                           | 114           |
| 01/01/2013 | 15   | 66             | 5                          | 9                             | 12                           | 114           |
| 01/01/2013 | 16   | 56             | 5                          | 9                             | 9                            | 113           |
| 01/01/2013 | 17   | 46             | 5                          | 7                             | 7                            | 116           |
| 01/01/2013 | 18   | 36             | 5                          | 7                             | 5                            | 116           |
| 01/01/2013 | 19   | 20             | 5                          | 10                            | 5                            | 116           |
| 01/01/2013 | 20   | 12             | 5                          | 17                            | 5                            | 116           |
| 01/01/2013 | 21   | 7              | 5                          | 19                            | 5                            | 115           |
| 01/01/2013 | 22   | 6              | 5                          | 19                            | 5                            | 115           |
| 01/01/2013 | 23   | 14             | 5                          | 16                            | 6                            | 116           |
| 01/01/2013 | 24   | 14             | 7                          | 13                            | 6                            | 115           |

Tabla 9.1 Comportamiento de los contaminantes en un día.

Esta información se presenta con la misma estructura para los 365 días del año y las 5 zonas descritas en capítulos anteriores.

Dentro del módulo gestión de base de datos se extraerá la información en el intervalo de tiempo requerido (anual) y se formará un vector denominado *conjunto fundamental* que servirá como entrada para el módulo de aprendizaje.

En la siguiente imagen se muestra a manera de diagrama, la composición del Modelo Gestión de Bases de Datos.

Cabe mencionar que antes de publicar estos datos, el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) valida que las mediciones se ven representadas con datos confiables ya que cada medición cuenta con una bandera que funge como indicador de la integridad de dicho dato. Este conjunto se valida mensualmente, previa a la publicación de los datos.

Durante el tratamiento de dicho repositorio se llegaron a las siguientes conclusiones:

- ✓ Al existir un error en la medición, el dato visualizado tiene valor numérico negativo, este valor se sustituirá por un valor de cero.
- ✓ La precisión de la predicción se ve afectada debido a la falta de datos reportados en distintas estaciones de monitoreo, ya sea por cuestiones climáticas no favorables o su total aislamientos del sistema de monitoreo.
- ✓ A lo largo del día el nivel de contaminación no presenta uniformidad, debido a que varía con respecto a distintos intervalos de tiempo.

En la siguiente imagen se describe la interacción entre el módulo de Gestión de BD y el módulo de Aprendizaje.

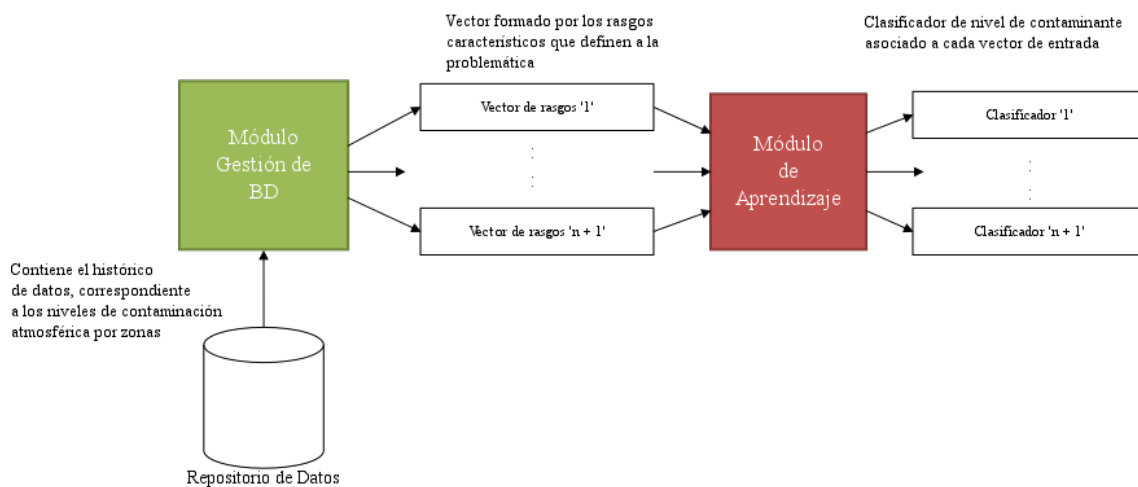


Figura 9.6 Interacción entre el Módulo Gestión de BD y Módulo de Aprendizaje.

A continuación se muestra un ejemplo de la conformación del vector **conjunto fundamental**:

[3,3,4,5,9,13,9,7,7,20,45,55,56,63,66,56,46,36,20,12,7,6,14,14]

Dicho vector representa las mediciones en niveles IMECA para el día 01/01/2013. Cabe aclarar que la estructura de dicho vector será la misma para cada uno de los cinco contaminantes en cada una de las cinco zonas descritas anteriormente.

### 9.3.1.6 Extracción de la información.

Para la manipulación de los datos presentados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México fue requerida la utilización de una herramienta de software para la manipulación de los datos

### 9.3.1.7 ExcelPackage

Para la construcción del módulo de gestión de bases de datos se hizo énfasis en la usabilidad del mismo, con la finalidad de facilitar al usuario la selección y carga de un repositorio de datos. Es decir, cargar el documento que contiene los parámetros de niveles IMECA tal cual es proporcionado por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) que a su vez ayudará a evitar posibles modificaciones al documento.

La realización de dicho modulo se llevó a cabo mediante la utilización de la referencia gratuita *ExcelPackage (EPPlus)* en su versión 3.0 para *Visual Studio 2012*. Mostrando como principal ventaja, la navegación y búsqueda de datos dentro del mismo documento.

## 9.3.2 Módulos de Aprendizaje y Clasificación

Durante el desarrollo de los módulos de aprendizaje y clasificación fue determinante la selección del modelo asociativo a emplear con base en la naturaleza del problema y mediante la elaboración de pruebas teóricas.

### 9.3.2.1 Análisis del Modelo Asociativo

Debido a la naturaleza de la problemática a resolver, se observó que se requiere reconstruir una serie de tiempo (de valores IMECA).

De la cual se desprenden 5 clases referentes a cada una de los indicadores de calidad del aire IMECA. Para establecer la clase a la que pertenece la clasificación resultado del módulo de clasificación del Sistema para la predicción de niveles de contaminante atmosférico (SIPRAT).

#### 9.3.2.1.1 CHAT

Como se mencionó en la tesis del doctor Santiago Montero en la cual se explican las propiedades de Clasificador Híbrido Asociativo con Translación de Ejes (CHAT) que mostró un desempeño considerable en la clasificación de problemas biclase (pertenece o no pertenece a una clase). Dado que el Sistema contará con un número de clases mayor,

esto llevó a descartar este modelo asociativo y con base a los objetivos establecidos en este proyecto, se procedió con en análisis del siguiente modelo asociativo objeto planteado.

### 9.3.2.1.2 Alfa-Beta

Para el uso del modelo asociativo Alfa-beta, se plantean lo siguiente para la etapa de aprendizaje y la de recuperación (clasificación) .

- **Fase de aprendizaje.**

Encontrar los operadores adecuados y una manera de generar una matriz M que almacene las p asociaciones del conjunto fundamental [10-25].

$$\{(x^1, y^1), (x^2, y^2), (x^3, y^3), \dots, (x^p, y^p)\}$$

donde  $x^\mu \in A^n$  y  $y^\mu \in A^m \forall \mu \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$ . Si  $\exists \mu \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$  tal que  $x^\mu \neq y^\mu$ , la memoria sería heteroasociativa; si  $m = n$  y  $x^\mu = y^\mu \forall \mu \in \{1, 2, 3, \dots, p\}$ , la memoria sería autoasociativa.

- **Fase de recuperación o clasificación.**

Hallar los operadores adecuados y las condiciones suficientes para obtener el patrón fundamental de salida  $y_\mu$ , cuando se opera la memoria M con el patrón fundamental de entrada  $x_\mu$ ; lo anterior para todos los elementos del conjunto fundamental y para ambos modos: autoasociativo y heteroasociativo.

### 9.3.2.2 Elección del Modelo Asociativo Alfa-Beta

Se busca reconstruir una serie de tiempo (descrita por el polinomio grado 23) utilizando el modo heteroasociativo, esto es asociar cada etiqueta de clase (representando el nivel de calidad del aire en parámetros IMECA), con una hora del día.

- a) **Propuesta de solución utilizando el modelo asociativo Alfa-Beta en modo heteroasociativo.**

Para la poder emplear las propiedades del modelo asociativo Alfa-Beta se requiere que tanto clases como vectores de entrada se encuentren codificados en un conjunto binario  $\{0,1\}$ . Por tanto se realizó la conversión de decimal a binario.

Por ejemplo:

$$[110]_2 = 5_{10}$$

$$[111100]_2 = 60_{10}$$

A continuación se muestra un ejemplo en el cual se entrena con  $\alpha$ MIN y se recupera con  $\beta$ MAX.

Dados los siguientes patrones de entrada:

$$x_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$x_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Y sus respectivas etiquetas de clase:

$$y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

A y B se encuentran definidos de la siguiente manera:

$$A = \{0, 1\}$$

$$B = \{0, 1, 2\}$$

Partiendo de las tablas de verdad establecidas para aprendizaje y recuperación:

### Aprendizaje

| x | y | $\alpha(x,y)$ |
|---|---|---------------|
| 0 | 0 | 1             |
| 0 | 1 | 0             |
| 1 | 0 | 2             |
| 1 | 1 | 1             |

### Recuperación

| x | y | $\beta(x,y)$ |
|---|---|--------------|
| 0 | 0 | 0            |
| 0 | 1 | 0            |
| 1 | 0 | 0            |
| 1 | 1 | 1            |
| 2 | 0 | 1            |
| 2 | 1 | 1            |

Figura 9.7 Aprendizaje y recuperación

Los operadores MAX y MIN se encuentran definidos de la siguiente forma:

$$\wedge: \text{Operador min} \quad \vee: \text{Operador MAX}$$

1. Efectuando el aprendizaje con  $\alpha$ , es decir aplicamos la operación  $\alpha$  de cada uno de los patrones de entrada por su respectiva etiqueta de clase para la obtención de las matrices correspondientes a cada patrón de entrada.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [0 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 0] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2. Obteniendo las matrices resultantes, procedemos a compararlas componente a componente y aplicamos la operación mínima, para la conformación de la matriz  $\alpha\text{MIN}$ .

$$\alpha\text{MIN} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Para la fase de recuperación o clasificación:

3. Efectuaremos la operación Beta entre las dos matrices
4. Debido a que la fase de aprendizaje se llevó a cabo con  $\alpha\text{MIN}$ , efectuaremos la recuperación con  $\beta\text{MAX}$ , es decir, efectuaremos una comparación en cada una de las filas de la matriz y seleccionaremos el valor mayor. Quedando de la siguiente forma.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \end{bmatrix}$$

- Aplicando la operación MAX, a cada una de las matrices se obtiene lo siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0 & \vee & 0 \\ 0 & \vee & 0 \\ 0 & \vee & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & \vee & 0 \\ 0 & \vee & 0 \\ 0 & \vee & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & \vee & 0 \\ 0 & \vee & 0 \\ 0 & \vee & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar, las etiquetas de clase resultantes de la fase de clasificación, no concuerdan con las etiquetas de clases asociadas al patrón de entrada.

- **Aprendizaje (entrenamiento) con  $\alpha$ MAX y recuperación (clasificación) con  $\beta$ MIN**

5. Efectuando el aprendizaje con  $\alpha$ , es decir aplicamos la operación  $\alpha$  de cada uno de los patrones de entrada por su respectiva etiqueta de clase para la obtención de las matrices correspondientes a cada patrón de entrada.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [0 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 0] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 2 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

6. Obteniendo las matrices resultantes, procedemos a compararlas componente a componente y aplicamos la operación máxima, para la conformación de la matriz  $\alpha$ MAX.

$$\alpha\text{MAX} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix}$$

Para la fase de recuperación o clasificación:

7. Efectuaremos la operación Beta entre las dos matrices
8. Debido a que la fase de aprendizaje se llevó a cabo con  $\alpha$ MAX, efectuaremos la recuperación con  $\beta$ MIN, es decir, efectuaremos una comparación en cada una de las filas de la matriz y seleccionaremos el valor menor. Quedando de la siguiente forma.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \wedge 0 \\ 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 2 & 2 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \end{bmatrix}$$

Aplicando la operación MIN, a cada una de las matrices resultantes se obtiene lo siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \wedge 0 \\ 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \\ 1 \wedge 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar, el tercer patrón resultante no concuerda con la etiqueta de clase establecida para dicho patrón de entrada, ya que en el modo heteroasociativo las memorias Alfa-Beta tipo MIN son inmunes a cierta alteración sustractiva pero sensitivas a alteraciones aditivas. Una pequeña cantidad de alteración aditiva puede tener efectos no deseados en la operación de las memorias Alfa-Beta tipo MAX. Tal y como se cita en el teorema 10 en el libro “Modelos Asociativos Alfa-Beta” de la colección CIDETEC-IPN.

- **Teorema.**

Sea  $\{x^u, y^u | \mu = 1, 2, \dots, p\}$  el conjunto fundamental de una memoria heteroasociativa  $\alpha\beta$  representada por  $\wedge$ , y sea  $X^{\sim} \in A^n$  un patrón alterado con ruido aditivo respecto de algún patrón fundamental  $x^{\omega}$  con  $\omega \in \{1, 2, \dots, p\}$ .



Al presentar  $x^\sim$  a la memoria  $\Lambda$  como entrada se cumple lo siguiente: para cada  $j_0 \in \{1, \dots, n\}$  tal que  $x_{j_0}^\omega$  haya sido alterado para obtener  $x_{j_0}^\sim$ , si  $\exists i_0 \in \{1, \dots, m\}$  para el que  $\lambda_{i_0 j_0} = 1$ , entonces  $(\Lambda \cup_\beta x^\sim)_{i_0} = 10$

**b) Propuesta de solución utilizando el modelo asociativo Alfa-Beta en modo autoasociativo.**

A continuación se muestra un ejemplo en el cual se entrena con  $\alpha$ MIN y se recupera con  $\beta$ MAX.

Dados los siguientes patrones de entrada:

$$x_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad x_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad x_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

A y B se encuentran definidos de la siguiente manera:

$$A = \{0, 1\} \quad B = \{0, 1, 2\}$$

Efectuando el aprendizaje con  $\alpha$ , es decir aplicamos la operación  $\alpha$  de cada uno de los patrones de entrada por su respectiva etiqueta de clase para la obtención de las matrices correspondientes a cada patrón de entrada.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [0 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 0] = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha [1 \ 1] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- Obteniendo las matrices resultantes, procedemos a compararlas componente a componente y aplicamos la operación máxima, para la conformación de la matriz  $\alpha$ MIN.

$$\alpha\text{MIN} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para la fase de recuperación o clasificación:

10. Efectuaremos la operación Beta entre las dos matrices

11. Debido a que la fase de aprendizaje se llevó a cabo con  $\alpha$ MIN, efectuaremos la recuperación con  $\beta$ MAX, es decir, efectuaremos una comparación en cada una de las filas de la matriz y seleccionaremos el valor mayor. Quedando de la siguiente forma.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 0 \\ 0 \vee 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \vee 0 \\ 0 \vee 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \vee 0 \\ 0 \vee 1 \end{bmatrix}$$

Aplicando la operación MAX, a cada una de las matrices se obtiene lo siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0 \wedge 0 \\ 0 \wedge 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \wedge 0 \\ 0 \wedge 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \wedge 0 \\ 0 \wedge 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar, los patrones resultantes de la fase de clasificación, son los mismos que forman parte del conjunto fundamental.

- **Aprendizaje (entrenamiento) con  $\alpha$ MAX y recuperación (clasificación) con  $\beta$ MIN**

- Efectuando el aprendizaje con  $\alpha$ , es decir aplicamos la operación  $\alpha$  de cada uno de los patrones de entrada por su respectiva etiqueta de clase para la obtención de las matrices correspondientes a cada patrón de entrada.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \alpha \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \alpha \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

12. Obteniendo las matrices resultantes, procedemos a compararlas componente a componente y aplicamos la operación máxima, para la conformación de la matriz  $\alpha$ Max.

$$\alpha\text{MAX} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Para la fase de recuperación o clasificación:

13. Efectuaremos la operación Beta entre las dos matrices

14. Debido a que la fase de aprendizaje se llevó a cabo con  $\alpha$ MAX, efectuaremos la recuperación con  $\beta$ MIN, es decir, efectuaremos una comparación en cada una de las filas de la matriz y seleccionaremos el valor mayor. Quedando de la siguiente forma.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \vee 1 \\ 1 \vee 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \vee 1 \\ 1 \vee 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \beta \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \vee 1 \\ 1 \vee 1 \end{bmatrix}$$

Aplicando la operación MAX, a cada una de las matrices se obtiene lo siguiente:

$$\begin{bmatrix} 0 \vee 1 \\ 1 \vee 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \vee 1 \\ 1 \vee 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \vee 1 \\ 1 \vee 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Como conclusión del análisis hecho con las anteriores pruebas teóricas, se llevó a cabo la elección del modelo asociativo Alfa-Beta debido a las siguientes características:

- ✓ En modo auto-asociativo recupera los patrones de entrada con un margen de 100% de efectividad.

- ✓ Reconstruye en su totalidad una serie de tiempo.
- ✓ Se puede optimizar su implementación a nivel de programación
- ✓ Distintos operadores para aprendizaje (Alfa) y clasificación (Beta).

En la figura 9.8 se muestra un aprendizaje de 24 horas, representado por la matriz clasificador como resultado de esta.

```

BITS 5
Clasificador
    1      0      0      0      0
    0      1      0      0      0
    0      0      1      0      0
    0      0      0      1      0
    0      0      0      0      1
Resultado de clasificación 24 horas
00000
00001
00010
00011
00100
00101
00110
00111
01000
01001
01010
01011
01100
01101
01110
01111
10000
10001
10010
10011
10100
10101
10110
10111
11000

```

*Figura 9.8 Aprendizaje de 24 horas*

La clasificación se puede observar en la secuencia binaria correspondiente.

Se muestra una clasificación de 365 días como resultado de 8760 horas correspondientes a las horas totales del año en la figura 9.9.

```

Clasificador
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
Resultado de clasificación 24 horas

```

*Figura 9.9 Resultado de clasificación*

Se muestra la operación consulta en consola del sistema en la siguiente figura.

```

Ingresar el día a consultar 01/01/2013
Ingresar la hora 22
Ingresar la zona 1
Ingresar el contaminante 3
IMECA en la hora 22 : 8

```

*Figura 9.10 Resultado de consulta al sistema*

### 9.3.2.3 Suavizado de Serie de Tiempo

Ya que el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, responde a diversas variables, tales como, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, radiación solar, temperatura ambiental, etc., [24] el cambio de valores de concentración (por tanto IMECA también) en un intervalo de tiempo que varía de días de la semana, por lo cual se optó por hacer un suavizado de la serie de tiempo formada por las mediciones de 24 horas, durante el año o conjunto de años a analizar.

Para realizar dicho suavizado, se utilizó la técnica de “*Moving Average*” o Promedio Móvil, con esta técnica, se eliminan las variaciones estacionales, cíclicas e irregulares, lo que nos asegura que solo quedará el movimiento de tendencia, a cambio de eso, se pierden datos iniciales y finales de la serie de tiempo.

A continuación se presenta un ejemplo de suavizado para un intervalo de tiempo de 24 horas, de 3 años distintos, 2007, 2008, 2009, día 1° Enero, contaminante Ozono, zona Noroeste

| Hora | 01/01/2007 | 01/01/2008 | 01/01/2009 | Suavizado    |
|------|------------|------------|------------|--------------|
| 1    | 9          | 13         | 11         | <b>11</b>    |
| 2    | 9          | 11         | 10         | <b>10</b>    |
| 3    | 9          | 7          | 7          | <b>7.5</b>   |
| 4    | 11         | 7          | 7          | <b>8</b>     |
| 5    | 11         | 16         | 5          | <b>9.25</b>  |
| 6    | 12         | 18         | 5          | <b>10</b>    |
| 7    | 13         | 20         | 5          | <b>10.75</b> |
| 8    | 12         | 19         | 5          | <b>10.25</b> |
| 9    | 12         | 17         | 9          | <b>11.75</b> |
| 10   | 15         | 30         | 19         | <b>20.75</b> |
| 11   | 23         | 34         | 41         | <b>34.7</b>  |
| 12   | 38         | 34         | 65         | <b>50.5</b>  |
| 13   | 60         | 35         | 52         | <b>57.75</b> |
| 14   | 60         | 31         | 57         | <b>51.25</b> |
| 15   | 80         | 30         | 60         | <b>57.5</b>  |
| 16   | 78         | 24         | 52         | <b>51.5</b>  |
| 17   | 58         | 20         | 48         | <b>43.5</b>  |
| 18   | 46         | 18         | 44         | <b>38</b>    |
| 19   | 26         | 26         | 23         | <b>24.5</b>  |
| 20   | 15         | 28         | 13         | <b>16.75</b> |
| 21   | 9          | 25         | 11         | <b>15</b>    |
| 22   | 8          | 27         | 5          | <b>11.25</b> |
| 23   | 9          | 25         | 5          | <b>11</b>    |
| 24   | 6          | 30         | 6          | <b>12.5</b>  |

Tabla 9.2 Suavizado para Ozono-Noroeste para el 1ro de Enero

Para el cálculo de los valores mostrados en la columna “Suavizado” es la mostrada en el marco teórico en la sección correspondiente a Suavizamiento de series de tiempo.

A continuación se muestra la gráfica que muestra los datos de la tabla anterior.

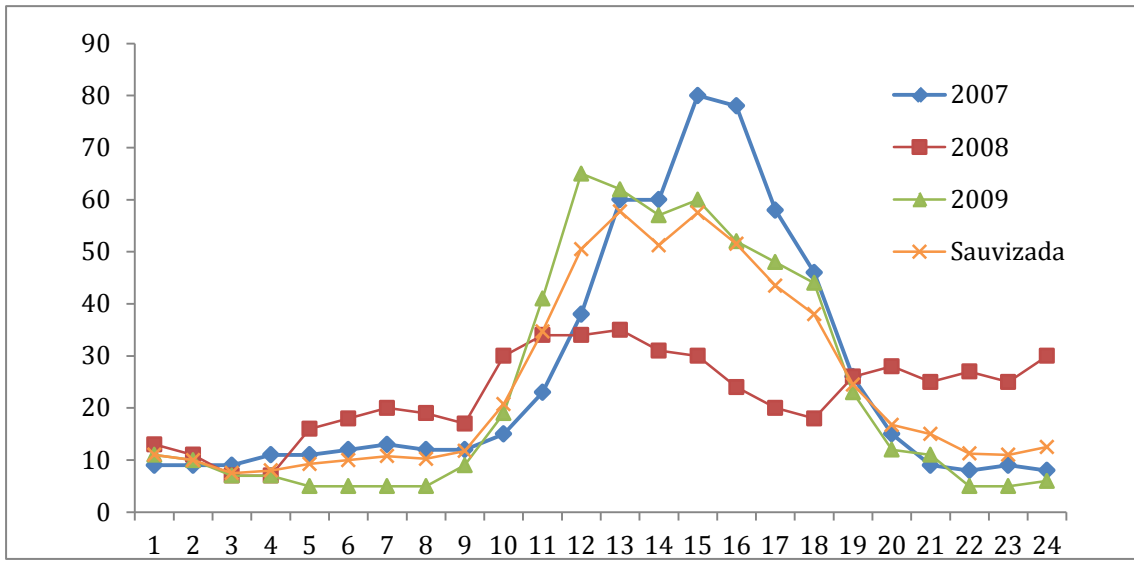


Figura 9.11 Gráfica para el suavizado de la tabla 9.2

### 9.3.3 Módulo de resultados

El módulo de resultados tiene como objetivo mostrar al operador la predicción del comportamiento de un contaminante, que resulta de la etapa de clasificación. Dichos resultados se muestran de manera gráfica en forma de serie de tiempo, apoyado con un reporte que muestra el nivel del contaminante traducido en parámetros de calidad IMECA. Cabe mencionar que debido a observaciones durante el proceso de desarrollo de este módulo se llegó al descarte de la librería de graficación *Graphlib*. Planteando como alternativa la librería *Telerik*.

#### 9.3.3.1 *Telerik*

La realización de este módulo se llevó a cabo mediante la utilización de la librería de graficación *Telerik* en su versión 2013 *Ultimate*.

Ofreciendo como principales ventajas:

- Manipulación de valores de entrada sin alterar el diseño de la grafica
- Integración y adaptación acorde a las necesidades del proyecto.

A continuación se muestra un ejemplo de clasificación, se puede apreciar con detalle el nivel IMECA, gracias a la funcionalidad de la librería *Telerik*

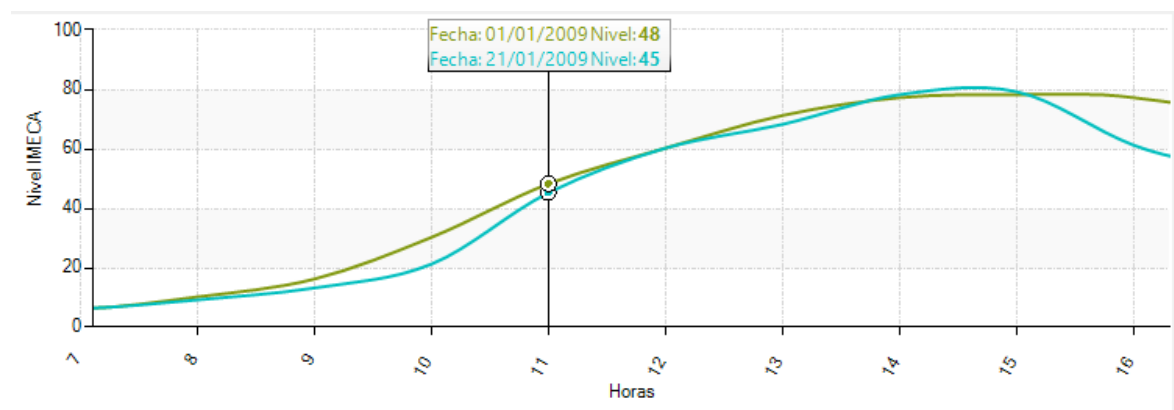


Figura 9.12 Gráfica mostrada en la pantalla de clasificación.



### 9.3.4 Módulo de Gestión de Usuarios.

La gestión de usuarios es de gran utilidad para la administración del sistema, ya que nos brinda las opciones de agregar, eliminar o bien modificar la información de un usuario (operador) en caso de que se requiera.

## Capítulo 10. Evaluación y pruebas del sistema

Para efectuar las pruebas del sistema es necesario referenciar el capítulo de análisis del sistema en el cual se estableció el marco de pruebas que se llevarán a cabo.

La primera pregunta que se planteó para efectuar la evaluación fue:

### 10.1 ¿Cuál es el número de repositorios adecuado para obtener un mejor desempeño?

Para encontrar respuesta a esta interrogante se efectuó un aprendizaje y clasificación bajo los siguientes criterios:

- Día 16/Febrero/2014
- Contaminantes: Ozono, Dióxido de Azufre, Dióxido de Nitrógeno, Monóxido de Carbono y PM10.
- Zonas: Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste, Sureste.

Para propósitos de medición de la efectividad del número de repositorios 'n' a utilizar, anteriores al año a clasificar, se llevó a cabo un análisis, utilizando un mecanismo de fuerza bruta (o peor tiempo de cómputo pero en contraste, muestra el conjunto óptimo de datos), el cual analiza la tendencia del nivel en parámetros IMECA, comparando los datos reales contra los datos obtenidos por la etapa de clasificación del sistema SIPRAT, dicho análisis se efectuó, variando el número de repositorios de entrada, con los cuales se lleva a cabo el aprendizaje del sistema, buscando minimizar el error cuadrático medio. Se desarrolló un software encargado de llevar a cabo dichas pruebas, y que muestra como resultado un archivo que enlista el número de errores, el cual es analizado posteriormente, para obtener el número de repositorios a usar.

A continuación se muestran las capturas de pantalla que ejemplifican dicho textos.

```

931 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2004a.xlsx
932 JUEVES, 1 DE ENERO DE 2009
933 Error :0
934 -----
935 6 Repositorios
936 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2008a.xlsx
937 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2007a.xlsx
938 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2006a.xlsx
939 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2005a.xlsx
940 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2004a.xlsx
941 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2003a.xlsx
942 JUEVES, 1 DE ENERO DE 2009
943 Error :0
944 -----
945 7 Repositorios
946 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2008a.xlsx
947 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2007a.xlsx
948 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2006a.xlsx
949 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2005a.xlsx
950 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2004a.xlsx
951 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2003a.xlsx
952 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2002a.xlsx
953 JUEVES, 1 DE ENERO DE 2009
954 Error :0
955 -----
956 8 Repositorios
957 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2008a.xlsx
958 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2007a.xlsx
959 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2006a.xlsx
960 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2005a.xlsx
961 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2004a.xlsx
962 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2003a.xlsx
963 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2002a.xlsx
964 /Users/Antonio/Desktop/WrapperExperimentacion/imeca2001a.xlsx

```

```

***** Identificador Contaminante: 3 *****
4 Repositori
Error :1
***** Identificador Contaminante: 4 *****
INDISTINTO
***** Identificador Contaminante: 5 *****
INDISTINTO
***** Identificador Contaminante: 6 *****
INDISTINTO
***** Identificador Contaminante: 7 *****
-----
3 Repositori
Error :0
-----
4 Repositori
Error :0
-----
5 Repositori
Error :0
-----
6 Repositori
Error :0
-----
7 Repositori
Error :0
-----
8 Repositorio
Error :0
***** Identificador Contaminante: 8 *****

```

Figura 10.1 Comparativo de los datos reales contra el resultado de clasificación de SIPRAT

Dados los resultados arrojados por SIPRAT se llevó a cabo un comparativo con los datos reales proporcionados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT).

A continuación se presenta una gráfica que muestra las dos principales opciones, la primera de ellas nos indica el desempeño obtenido con 2 repositorios y 3 repositorios respectivamente.

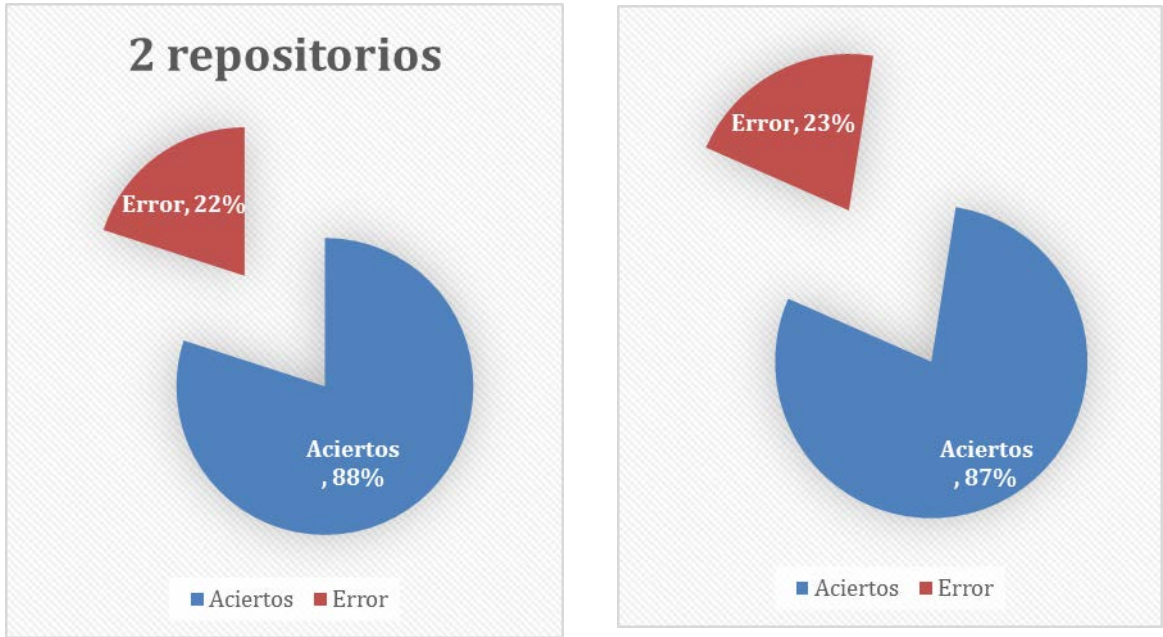


Figura 10.2 Desempeño con 2 y 3 repositorios

Como se puede observar en la gráfica el desempeño difiere en una unidad porcentual, favoreciendo el desempeño del sistema con 2 repositorios de entrada.

Partiendo de este resultado procedemos a efectuar aprendizaje y clasificación de los datos.

### 10.2 Zona Noroeste

Prueba con repositorios de 2011 a 2013 para obtener 2014

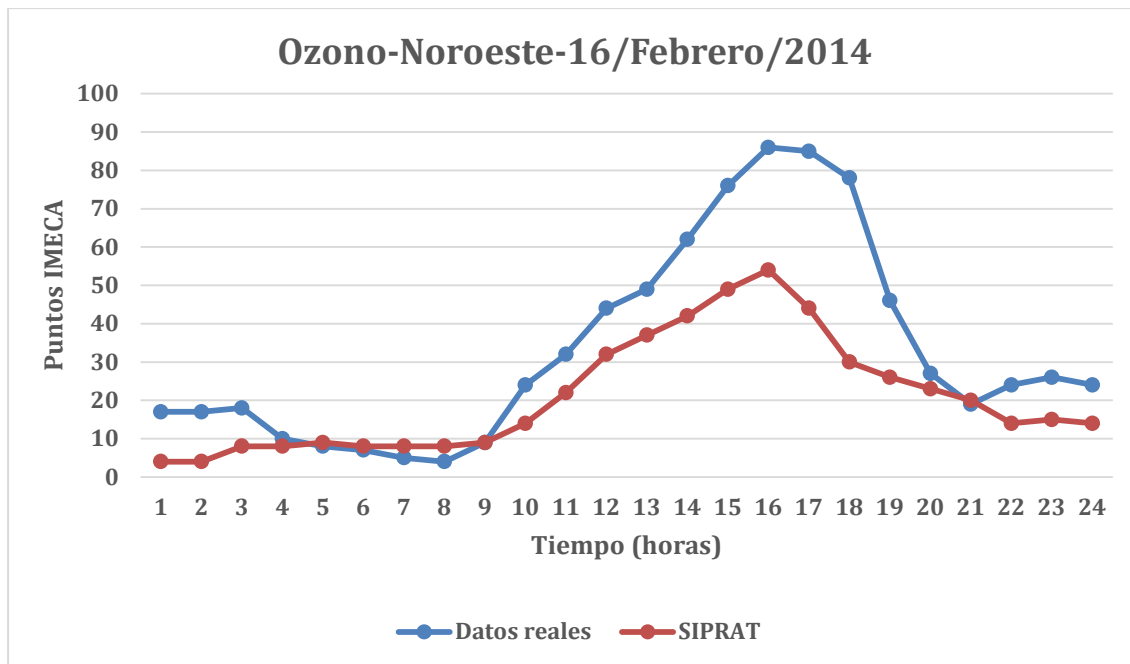


Figura 10.3 Resultado Ozono-Noroeste

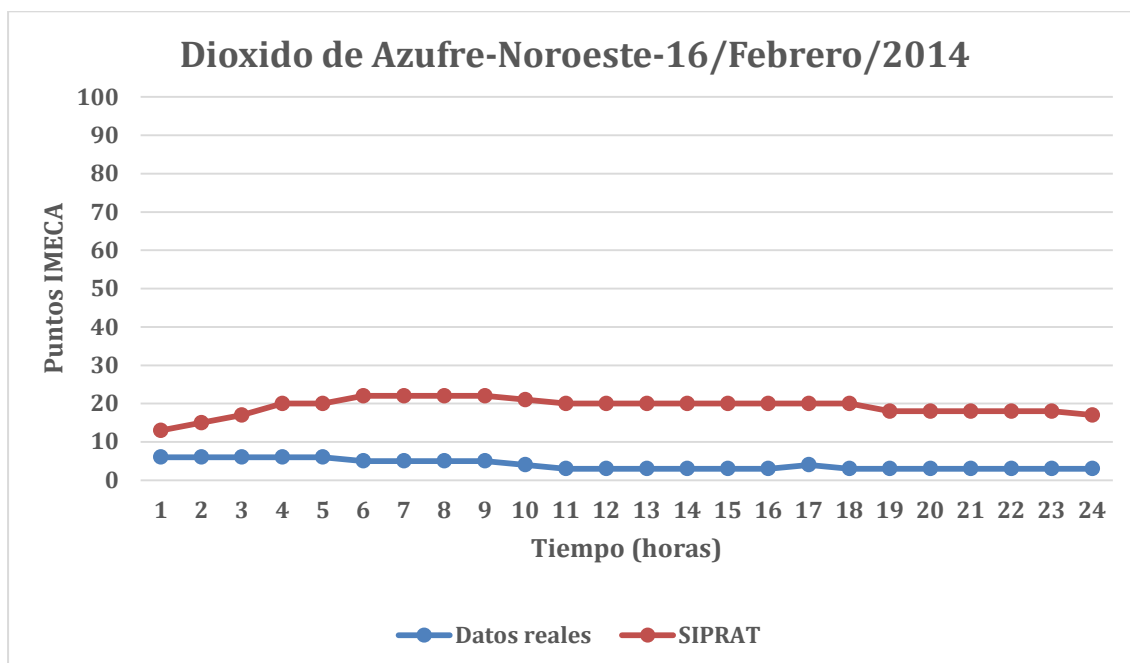


Figura 10.4 Resultado Dióxido de Azufre-Noroeste

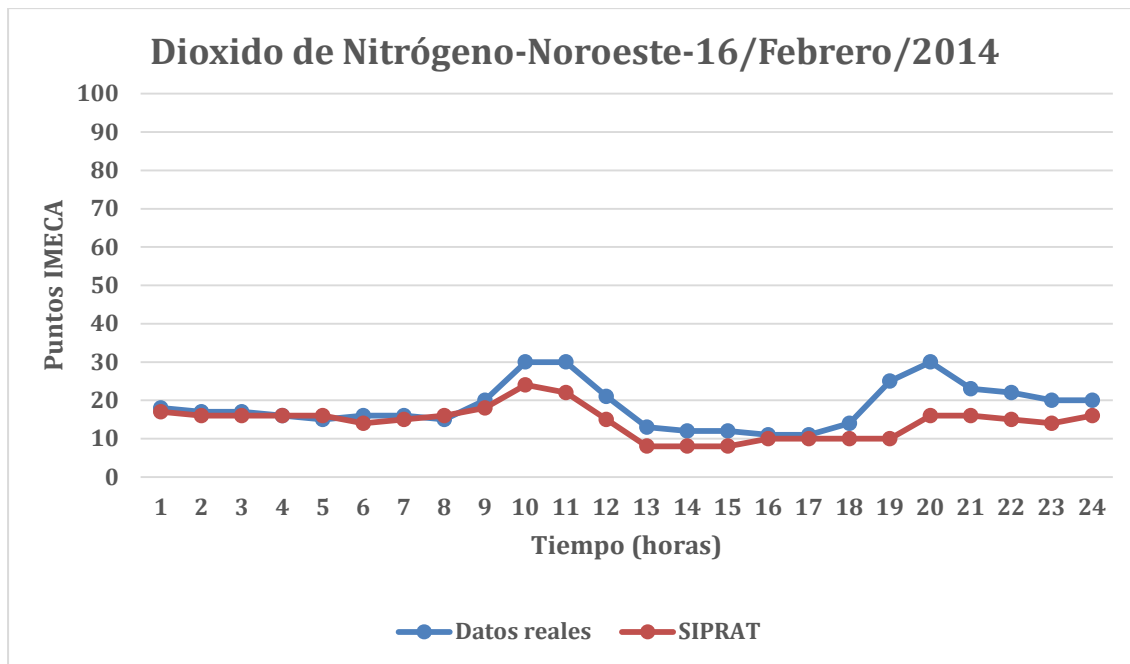


Figura 10.5 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Noroeste

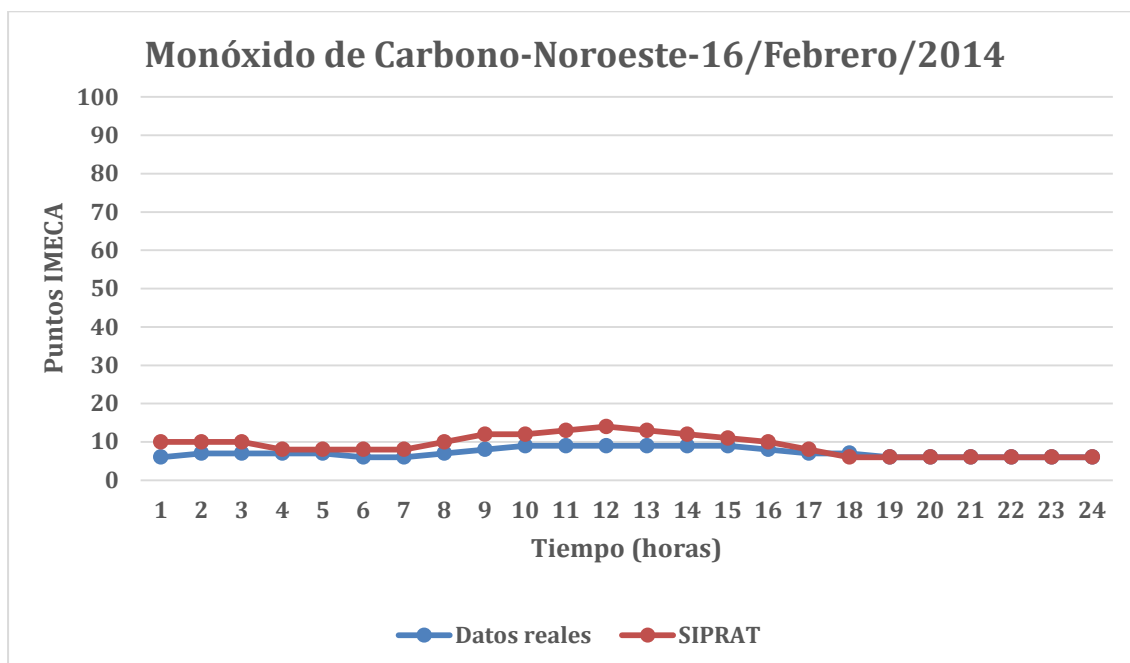


Figura 10.6 Monóxido de Carbono-Noroeste

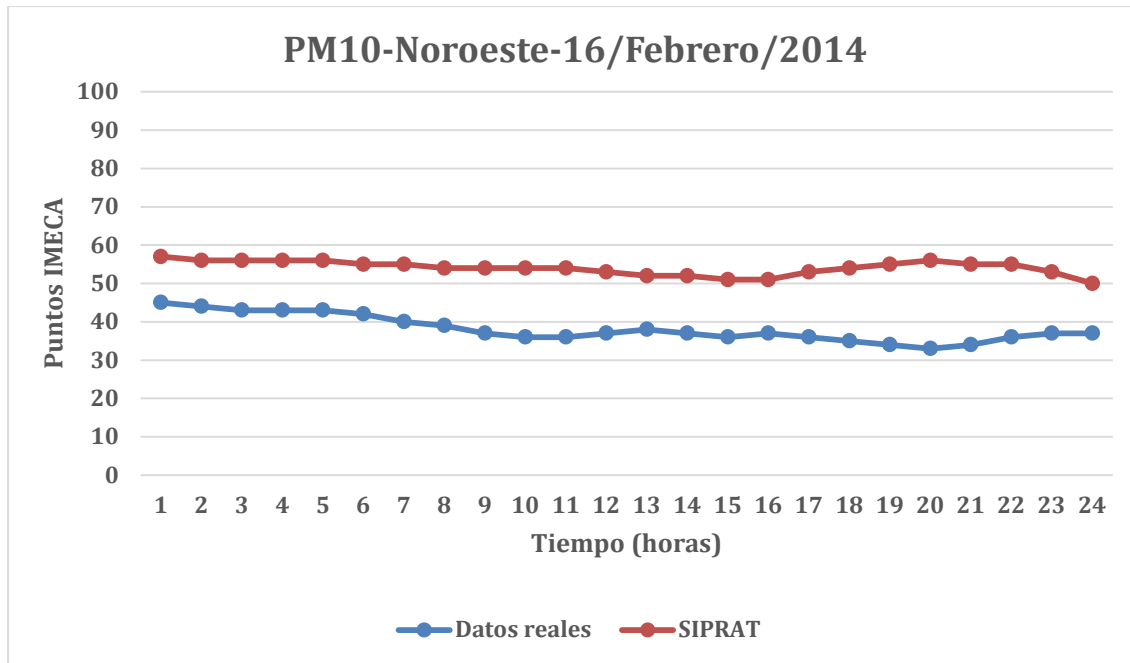


Figura 10.7 Resultado PM10-Noroeste

### 10.3 Zona Noreste

Prueba con repositorios de 2011 a 2013 para obtener 2014

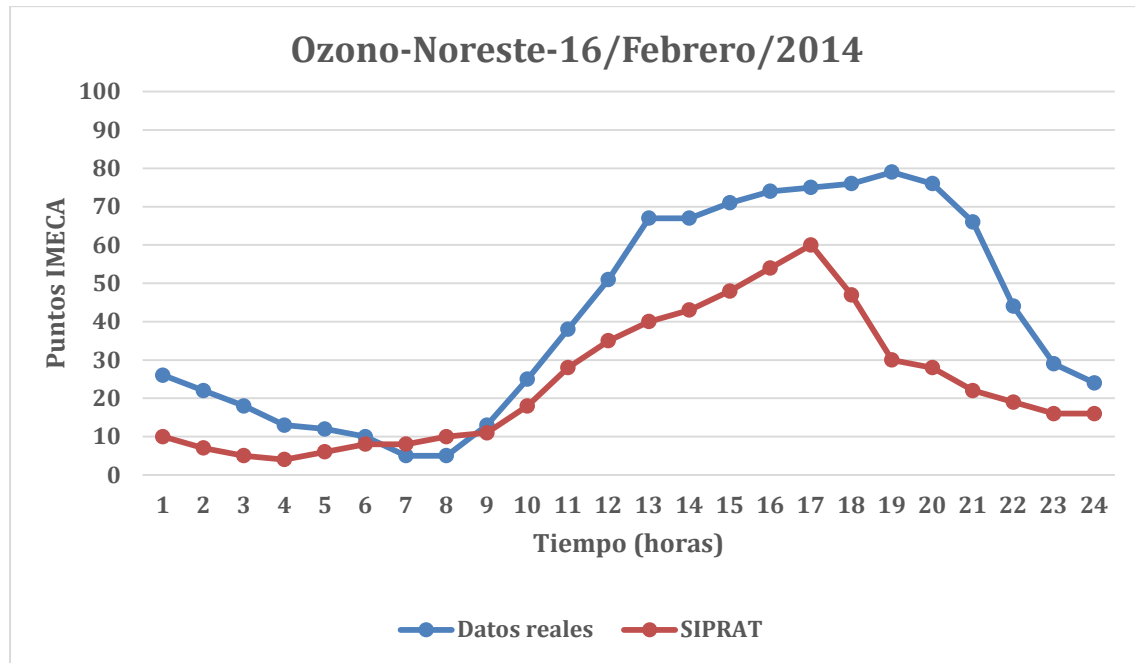


Figura 10.8 Resultado Ozono-Noreste

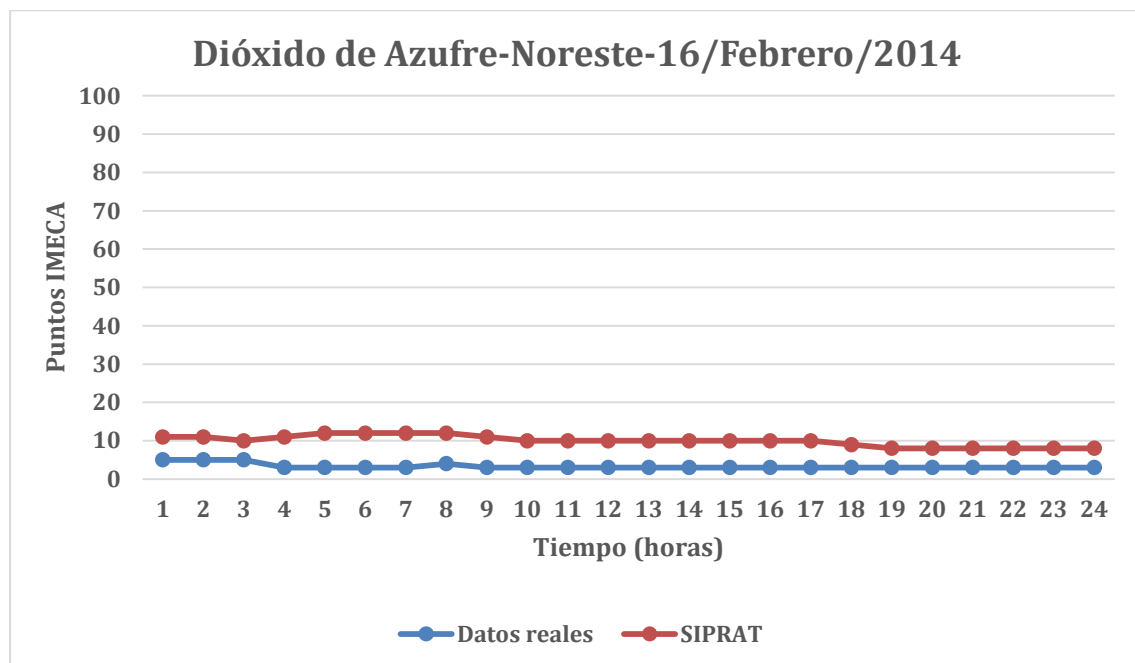


Figura 10.9 Resultado Dióxido de Azufre-Noreste

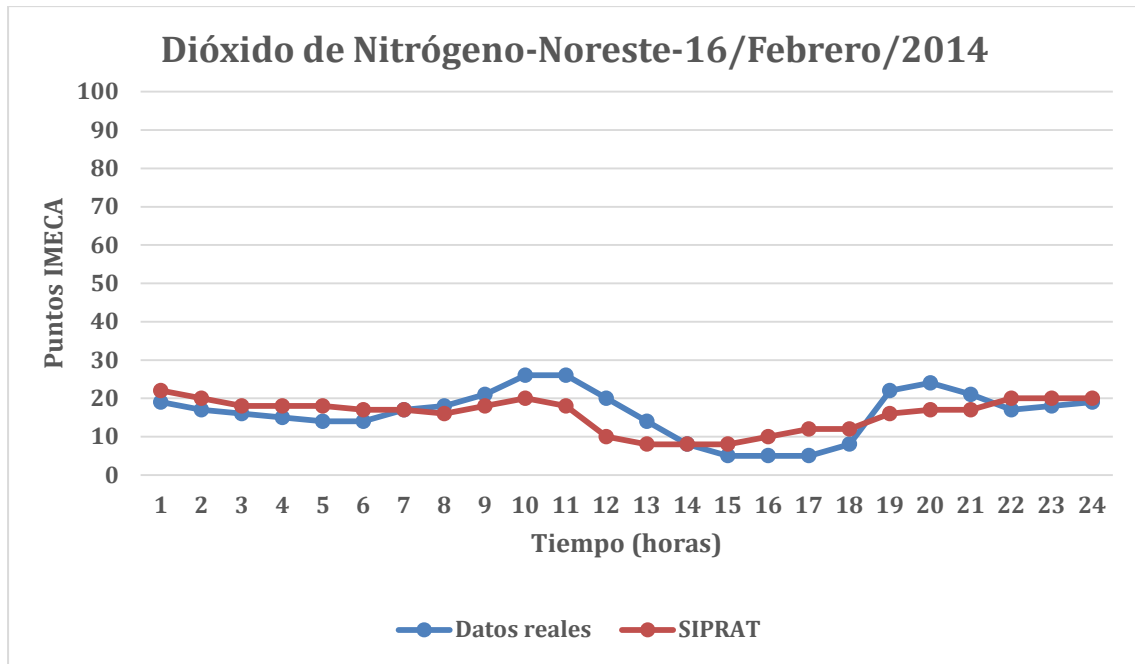


Figura 10.10 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Noreste

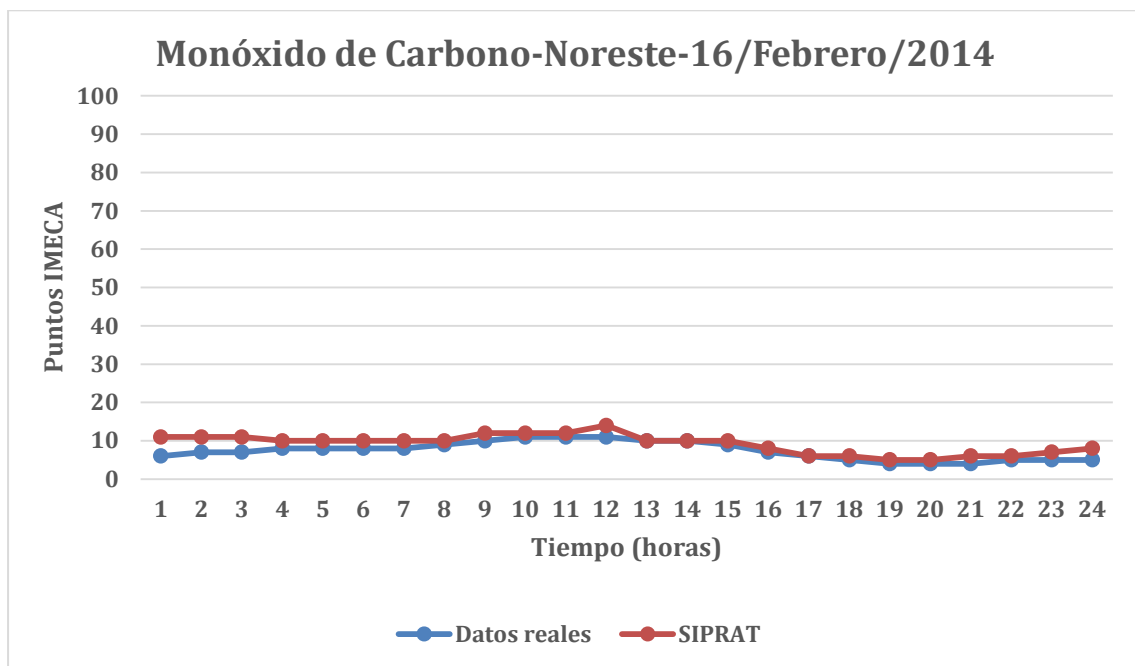


Figura 10.11 Resultado Monóxido de Carbono-Noreste



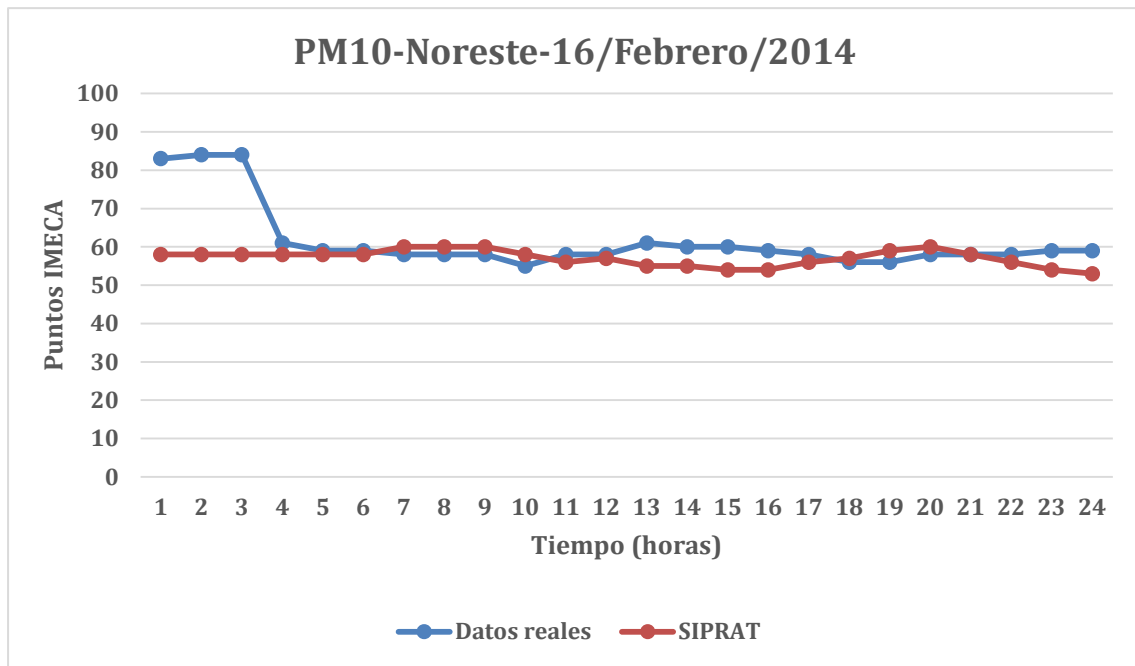


Figura 10.12 Resultado PM10-Noreste

## 10.4 Zona Centro

Prueba con repositorios de 2011 a 2013 para obtener 2014

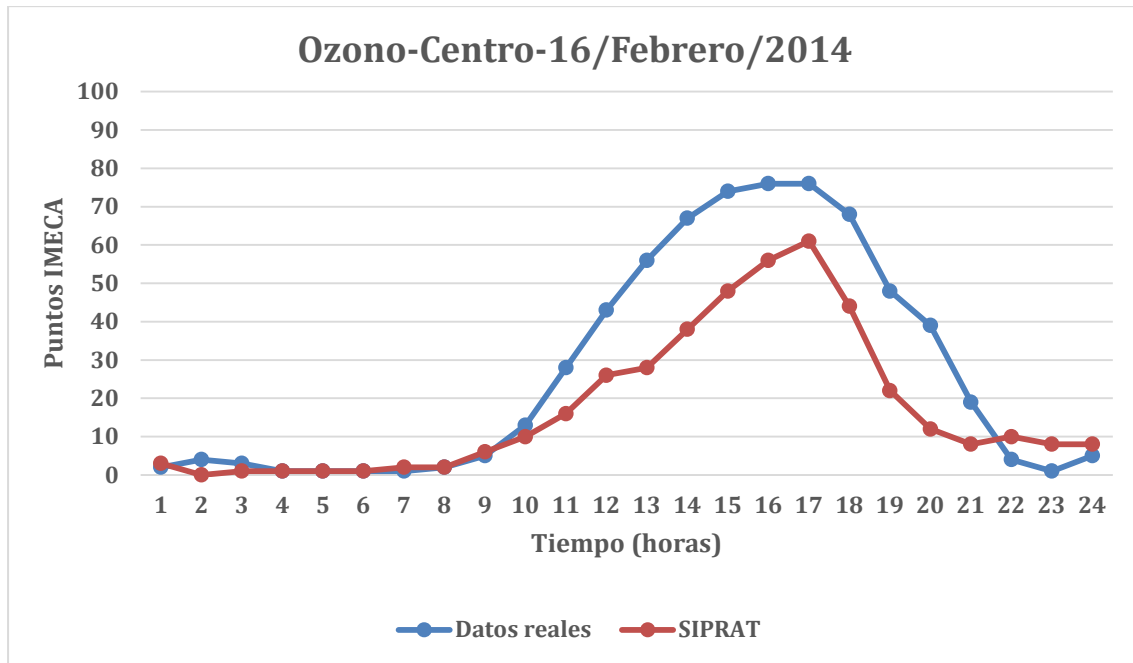


Figura 10.13 Resultado Ozono-Centro

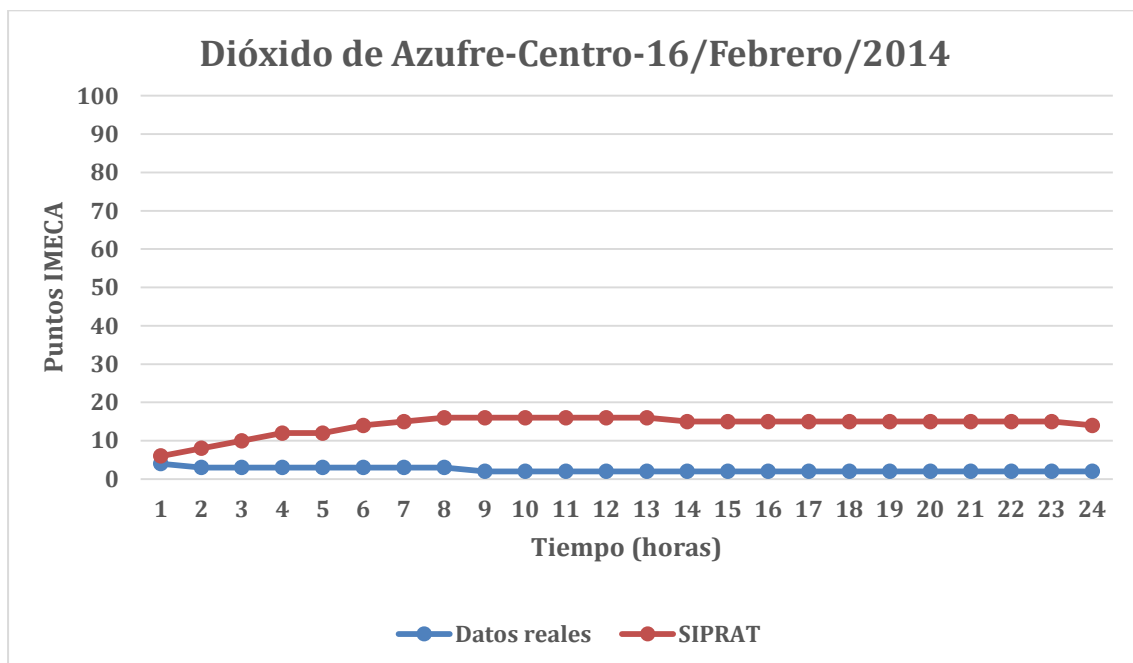


Figura 10.14 Resultado Dióxido de Azufre-Centro

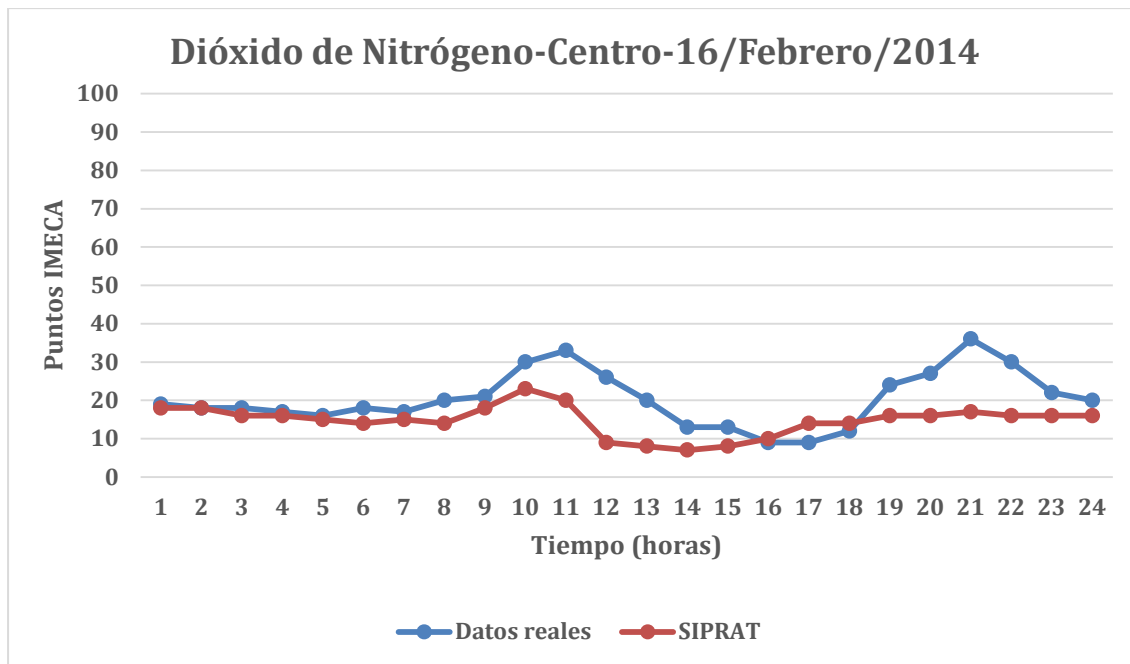


Figura 10.15 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Centro

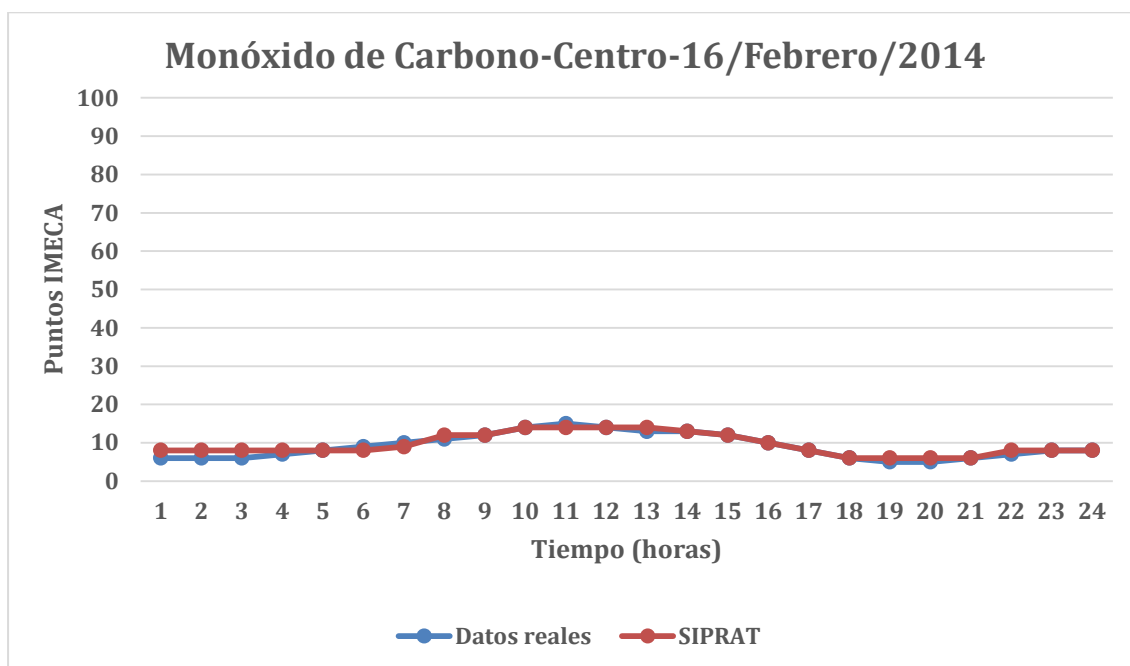


Figura 10.16 Resultado Monóxido de Carbono-Centro

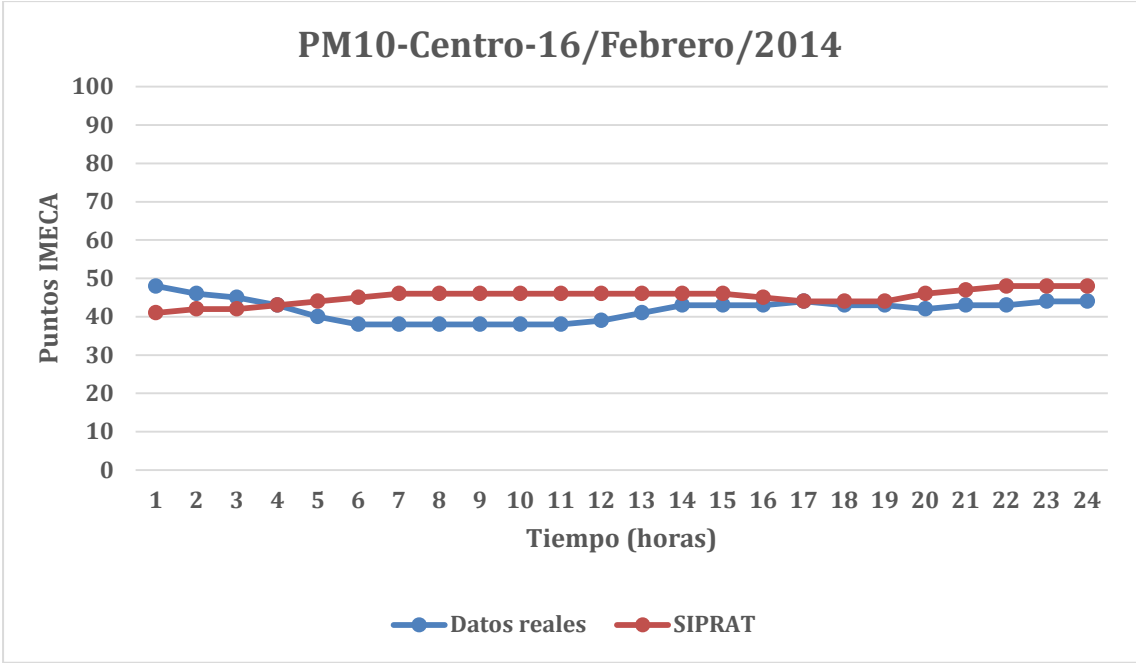


Figura 10.17 Resultado PM10-Centro



## 10.5 Zona Suroeste

Prueba con repositorios de 2011 a 2013 para obtener 2014

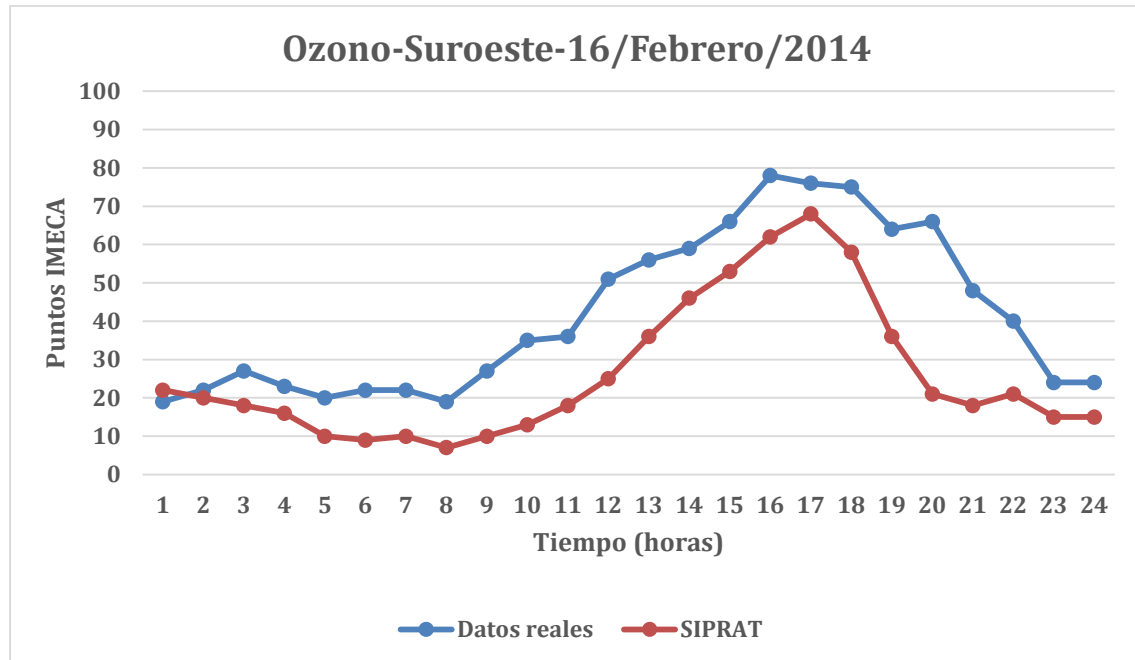


Figura 10.18 Resultado Ozono-Suroeste

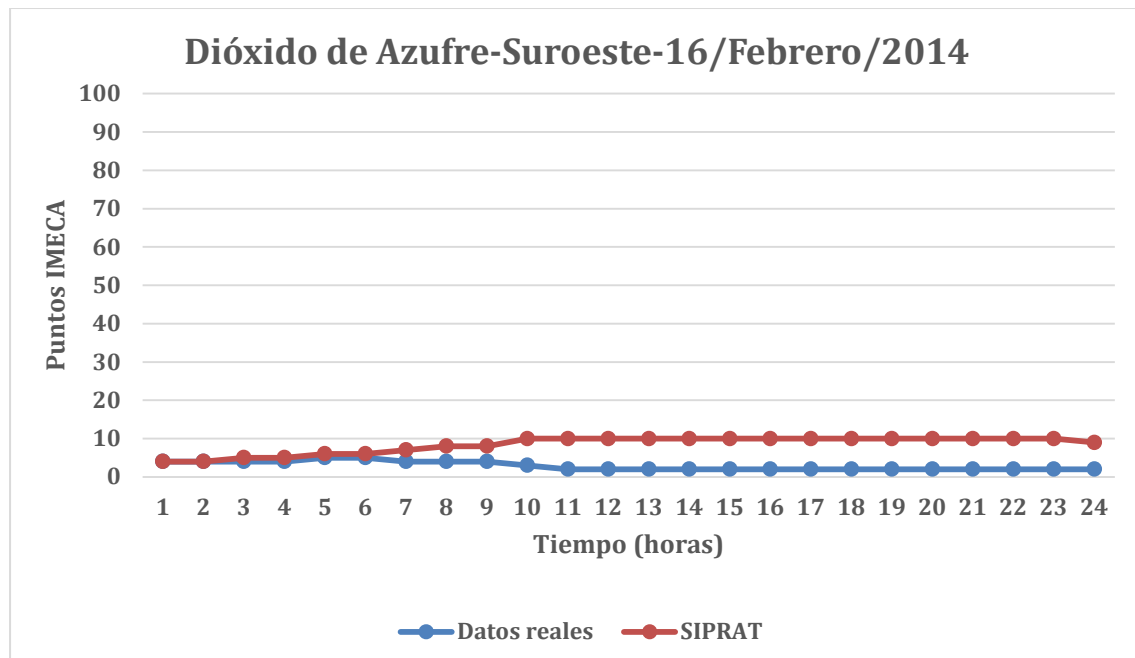
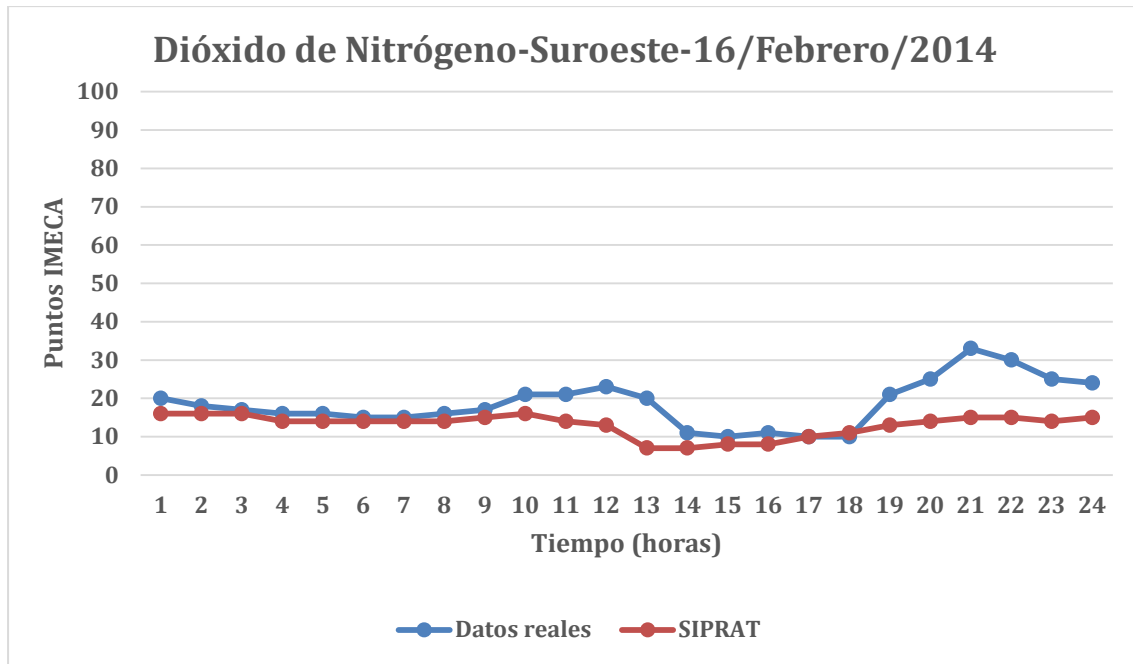
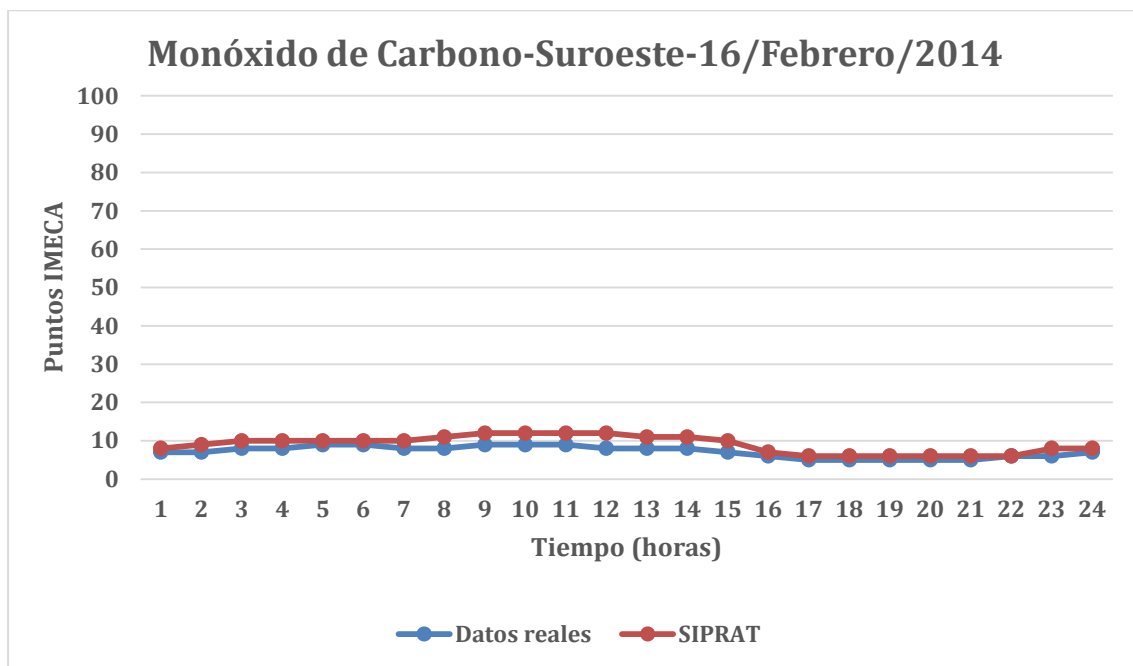


Figura 10.19 Resultado Dióxido de Azufre-Suroeste



*Figura 10.20 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Suroeste*



*Figura 10.21 Resultado Monóxido de Carbono-Suroeste*

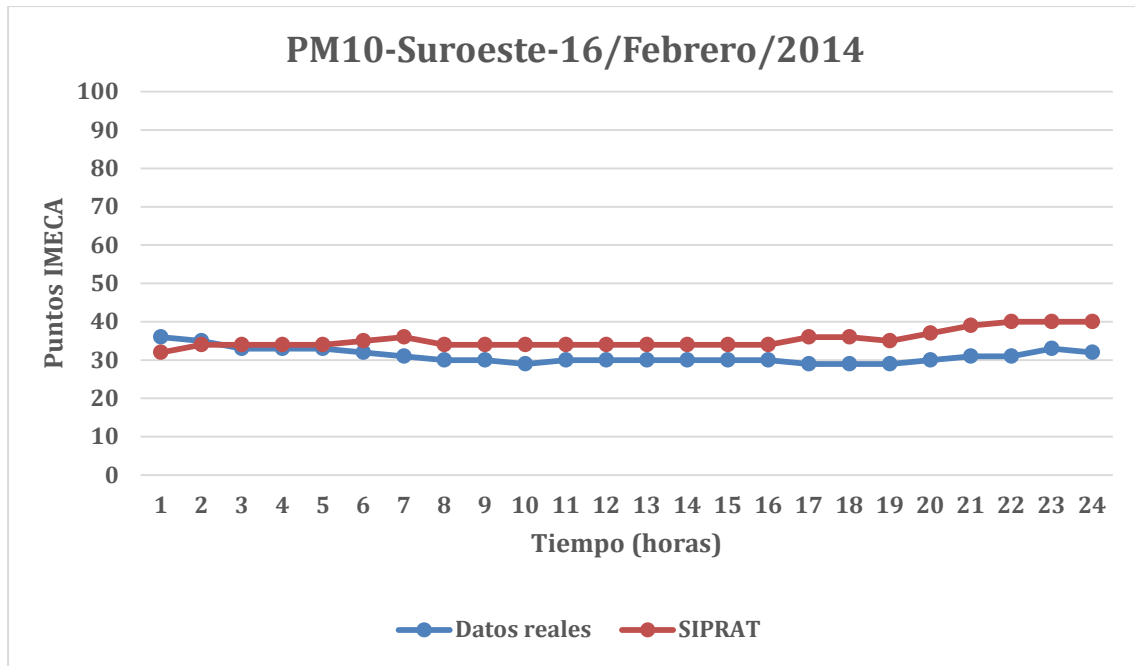


Figura 10.22 Resultado PM10-Suroeste



## 10.6 Zona Sureste

Prueba con repositorios de 2011 a 2013 para obtener 2014

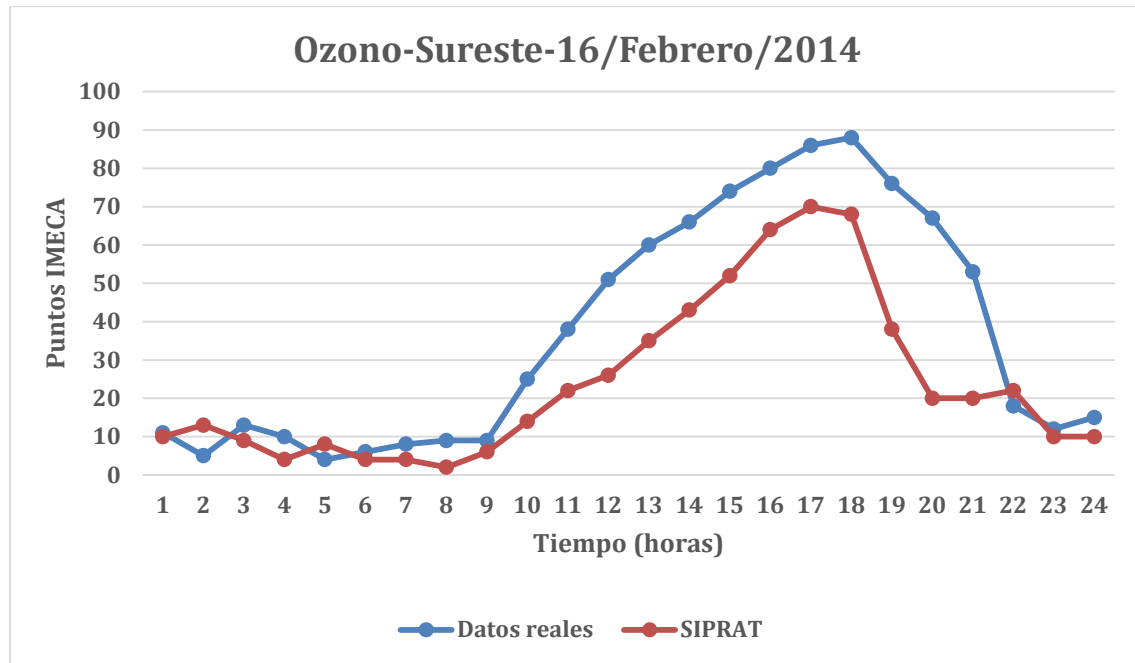


Figura 10.23 Resultado Ozono-Sureste

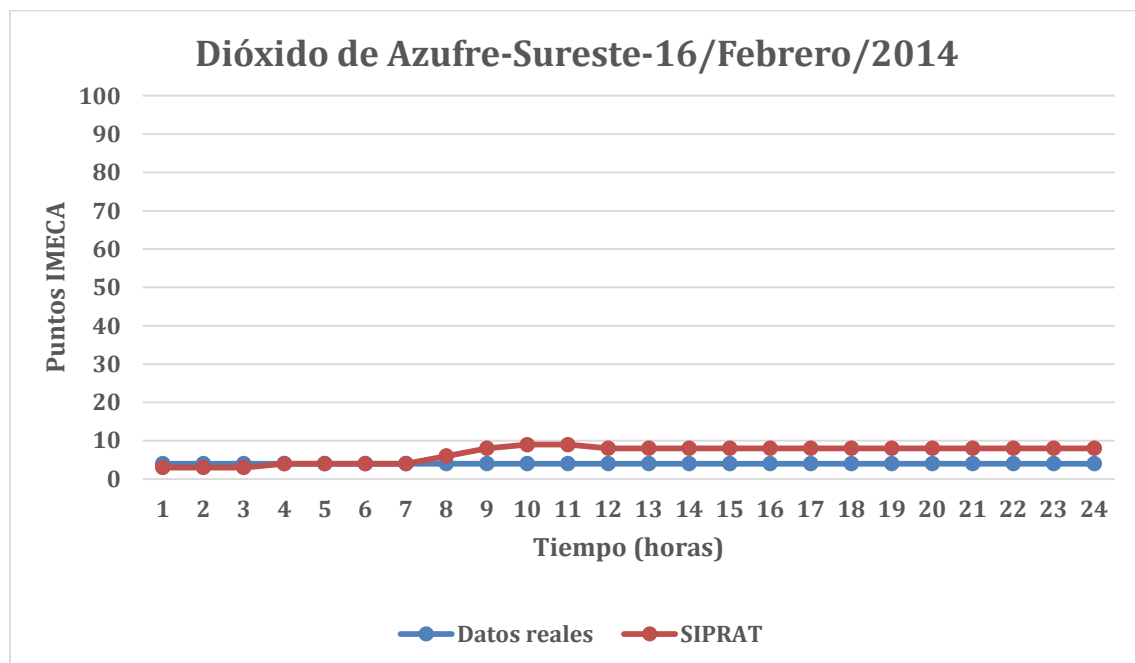


Figura 10.24 Resultado Dióxido de Azufre-Sureste

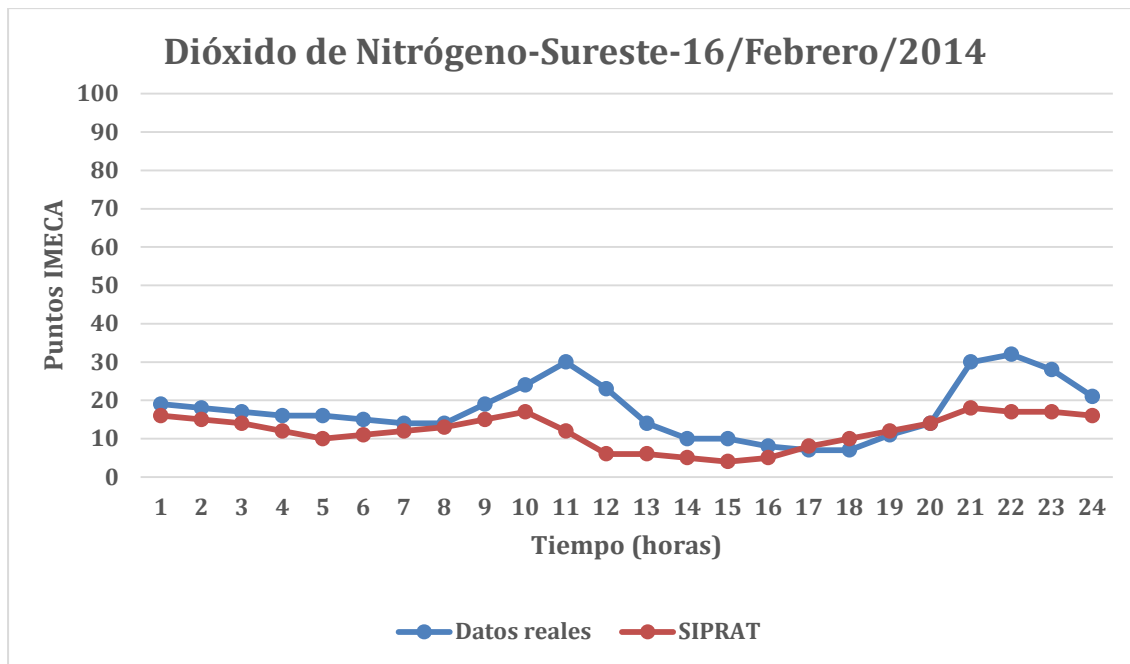


Figura 10.25 Resultado Dióxido de Nitrógeno-Sureste

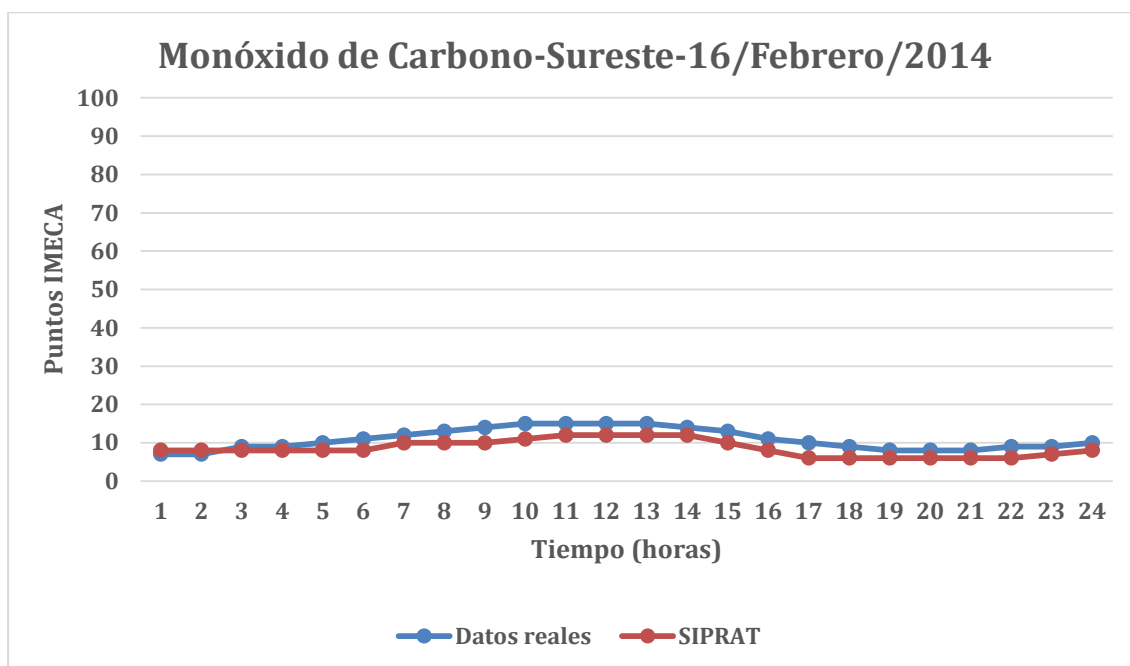


Figura 10.26 Resultado Monóxido de Carbono-Sureste

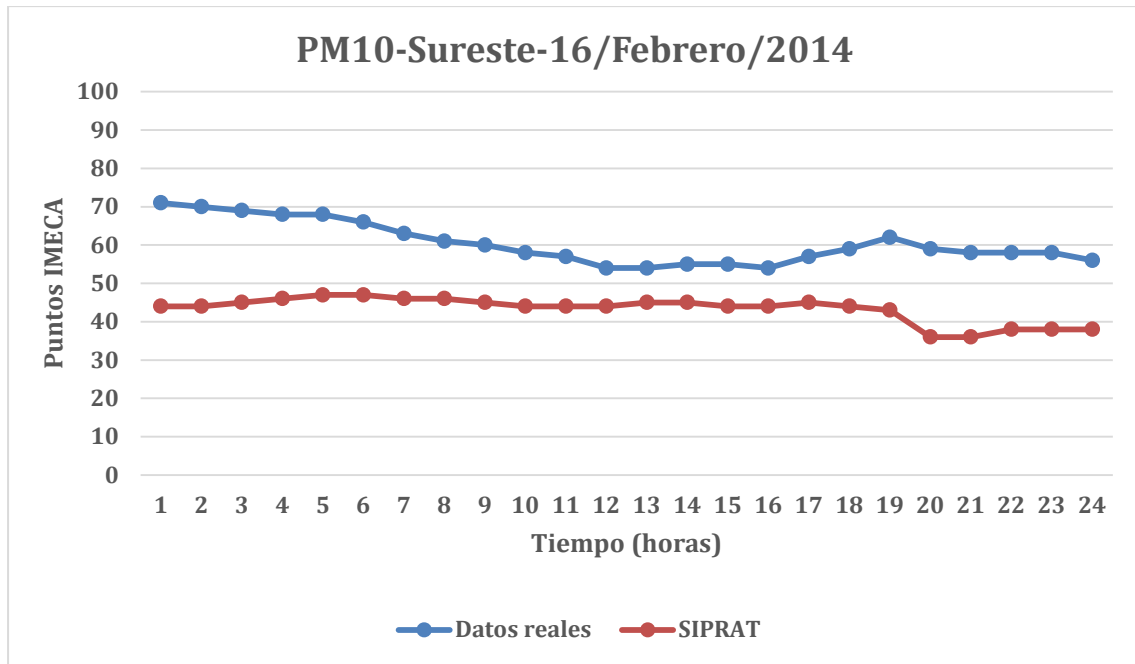


Figura 10.27 Resultado PM10-Sureste

Dados los datos anteriores se llevo a cabo el calculo de la efectividad total del sistema. Con respecto al aprendizaje y clasificación, con la finalidad de conocer los puntos débiles y fuertes de este sistema. A su vez y retomando el análisis llevado a cabo en la etapa de construcción, se llevo a la conclusión de que el contaminante PM10 no sigue una forma de tendencia central; por lo tanto se decidió no efectuar el suavizado para dichas series y aumentando el porcentaje de efectividad.

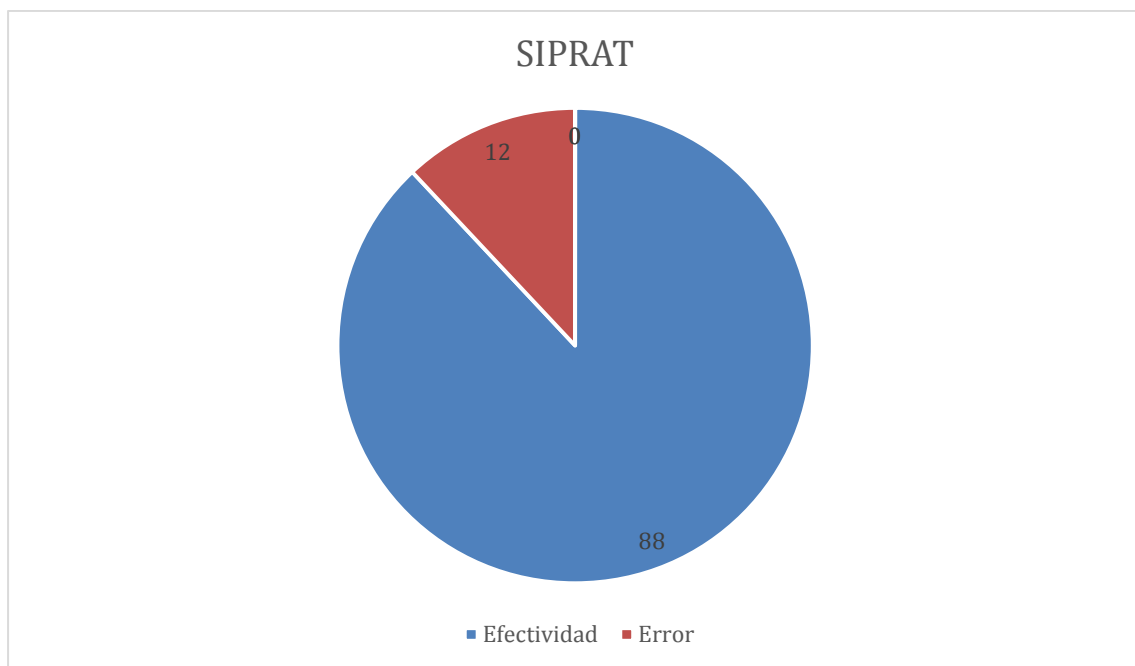


Figura 10.28 Porcentaje de Efectividad



## Conclusión

El proyecto tuvo como objetivo principal lograr predecir niveles de contaminación atmosférica usando un modelo asociativo.

Para esto, se llevaron a cabo dos procesos de investigación en paralelo para generar el contexto en el cuál el proyecto se establecería.

El primero, se realizó con una colaboración directa con la Secretaría de Medio Ambiente en la Dirección de Monitoreo

Atmosférico, dirección que proporcionó los repositorios de datos que alimentan el sistema.

El segundo proceso se alimentó de referencias bibliográfica científicas que nos proporcionaron la información necesaria para conocer el funcionamiento, los tipos y la evolución de los modelos asociativos, así como otros tópicos como son: selección y filtrado de atributos, análisis de series de tiempo, entre otros que, no habían tenido un acercamiento formal a lo largo del proceso de aprendizaje del grupo de trabajo.

El proyecto tuvo una resolución positiva, ya que se lograron cumplir los objetivos que se plantean al principio del mismo aunque hay puntos críticos que merecen una mención para tomarse en cuenta en futuros proyectos que hagan uso de esta documentación. Dichos puntos se mencionan a continuación.

Debido a la naturaleza del problema (multivariable), solventarlo con el modo heteroasociativo del modelo asociativo Alfa-Beta resulta difícil de abordar ya que no se cuenta con el análisis y medición de variables extras a las proporcionadas por el SIMAT; como lo son: presión, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, tránsito vehicular, entre otros. Con esto, se confirma la decisión de usar un modelo autoasociativo.

Un segundo punto a considerar, es el rendimiento del sistema. El primer caso viene de la mano con el comportamiento del contaminante en un intervalo de tiempo que puede ser de tendencia central, lineal, exponencial, cuadrada; es necesario analizar el comportamiento a detalle para encontrar las técnicas adecuadas para el tratamiento de la serie. Esto se ve reflejado en la etapa de evaluación y pruebas, específicamente con el contaminante PM10 al cual se le aplicaba un suavizado para datos de tendencia central. Esto impactaba al porcentaje de efectividad en la clasificación, por lo que se decidió no suavizar la serie de tiempo del contaminante obteniendo un porcentaje mayor al anterior.

Un segundo caso, hace énfasis en el uso de Feature Selection y Filter Selection para encontrar un conjunto óptimo para alimentar el modelo asociativo.

Esto tuvo un papel importante en el desarrollo del proyecto, ya que gracias a esto también se mejoró el rendimiento del sistema.

Este proyecto se presenta en la Escuela Superior de Cómputo como punta de lanza, ya porque no se habían desarrollado tales que se dedicaran a la predicción utilizando modelo asociativos.

Esto abre la puerta a un nuevo universo de proyectos que futuras generaciones pueden desarrollar así como darle seguimiento al presente trabajo para alcanzar una mejora continua, utilizando el modelo asociativo, como se mencionó anteriormente.

## **Anexos**

### **Proceso de medición de las estaciones de RAMA**

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la cual es un subsistema del SIMAT, incluye en la actualidad diferentes estaciones distribuidas en puntos estratégicos del Distrito Federal y el Estado de México, teniendo un conteo de 34 y 21 estaciones respectivamente. En cada una de estas estaciones existe un conjunto de aparatos de medición para cada contaminante como se muestra en la Figura 9.1 y la Figura 9.2.

### **Instrumentos de medición<sup>15</sup>**

Cada rack contiene instrumentos de medición con tareas individuales que conjuntamente generan los datos a mandar al área de control. La descripción del funcionamiento de cada instrumento se muestra a continuación.

#### **Photometric O<sub>3</sub> analyser model (TAPI T400).**

El modelo del T703 y del T703U es un microprocesador calibradores de ozono controlado para la calibración de los instrumentos de ozono en el ambiente de precisión, tales como la TAPI T400. Cuentan con un fotómetro de ozono interno que proporciona realimentación a lazo cerrado de control muy preciso de la concentración de ozono. Sin embargo, la T703U es capaz de generar ozono en una gama baja (modo fraccional), para la producción ultrabaja de ozono.

Nada menos que 50 secuencias de calibración independientes se pueden programar en el T703/T703U, que abarca períodos de tiempo de hasta un año. La configuración de las secuencias es sencilla e intuitiva. Estas secuencias pueden ser accionadas manualmente, automáticamente, o por una señal remota. Las secuencias pueden ser cargadas a distancia, incluyendo la edición remota. Todos los programas se mantienen en la memoria no volátil.

El diseño T703/T703U enfatiza respuesta rápida, repetitividad, precisión global y facilidad de operación. Puede combinarse con el Modelo 701 (Generador de aire cero) para ofrecer lo último en formatos fáciles de usar, calibración precisa de los instrumentos del ozono. [36]

#### **UV Fluorescence SO<sub>2</sub> Analyzer (T100)**

El modelo T100 UV *Fluorescence SO<sub>2</sub> Analyzer* es un analizador controlado por un microprocesador que determina la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), en una

---

<sup>15</sup> Para información más detallada acerca del funcionamiento de los instrumentos, visitar [www.teledyne.com/](http://www.teledyne.com/)

muestra de gas aspirado a través de la cámara de muestra del instrumento en el que se expone a luz ultravioleta, lo que hace que cualquier  $SO_2$  presente fluorescencia. El instrumento mide la cantidad de fluorescencia para determinar la cantidad de  $SO_2$  en el gas de muestra.

La excepcional estabilidad de T100 se logra con el uso de un obturador óptico para compensar la deriva del sensor y un detector de referencia para corregir los cambios en la intensidad de la lámpara UV. Además de un diseño óptico avanzado combinado con un lavador de gases especial llamado "golpeador", que elimina los hidrocarburos (emite fluorescencia similar al  $SO_2$ ) evitando imprecisiones debido a interferencias.

La calibración del instrumento se lleva a cabo en el software que almacena las mediciones de concentración de  $SO_2$  hechas gas cuando concentraciones específicas y conocidas de  $SO_2$  se suministran en el analizador. El microprocesador utiliza estos valores de calibración junto con otros parámetros de rendimiento, tales como el sensor de desplazamiento, intensidad de la lámpara UV, cantidad de luz parásita presente y mediciones de la temperatura y presión del gas de muestra para calcular la concentración final de  $SO_2$ .

Incorporado en la capacidad de adquisición de datos, se utiliza la memoria interna del analizador, permite el registro de varios parámetros como valores promediados o instantáneos de concentración y de calibración y los parámetros de funcionamiento como la presión y el caudal. Los datos almacenados se recuperan fácilmente a través del puerto serie o el puerto Ethernet opcional a través de nuestro software *APICOM* o desde el panel frontal, lo que permite a los operadores realizar diagnósticos predictivos y análisis de datos mejorados por las tendencias de los parámetros de seguimiento. Varios periodos de promedio de un minuto en 365 días están disponibles para un periodo de más de un año. [37]

## **Model T200 Nitrogen Oxide Analyzer**

El modelo T200 *Nitrogen Oxides Analyzer* utiliza la detección de quimioluminiscencia, junto con la tecnología de microprocesador del estado de la técnica para proporcionar la sensibilidad, estabilidad y facilidad de uso necesaria para los requisitos de seguimiento CEM de dilución de óxido nítrico ( $NO$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y el total de los óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ). El instrumento:

- Calcula la cantidad de  $NO$  presente mediante la medición de la cantidad de quimioluminiscencia emitida cuando el gas de muestra se expone al ozono ( $O_3$ ).
- Utiliza un convertidor catalítico-reactivo para convertir cualquier  $NO_2$  en el gas de muestra en  $NO$ , que se mide entonces como arriba (incluyendo el  $NO$  original en el gas de muestra) y reportado como de  $NO_x$ .

Debido a la densidad de los efectos de las muestra de gas, el software T200 compensa los cambios de temperatura y presión. La estabilidad se mejora aún más por una función de



auto-cero que redirige periódicamente el flujo de gas a través del analizador de manera que ninguna reacción de quimioluminiscencia está presente en la cámara de la muestra.

El analizador mide esta condición "oscuro" y utiliza los resultados como un desplazamiento que se resta de las lecturas de los sensores registrados mientras el instrumento es la medición de  $NO$  y  $NO_x$ . El resultado proporciona un sensible, preciso y fiable rendimiento en las condiciones más duras.

El software multitarea del analizador T200 ofrece la posibilidad de realizar un seguimiento e informar a un gran número de parámetros de funcionamiento en tiempo real. Estas lecturas se comparan con los límites de diagnóstico guardados en la memoria de los analizadores y deben quedar fuera de cualquier de esos límites las cuestiones analizador de avisos automáticos.

Incorporado en la capacidad de adquisición de datos, se utiliza la memoria interna del analizador, permitiendo el reporte de varios parámetros como la concentración promedio, instantánea, los valores de calibración, y los parámetros de funcionamiento como la presión y la velocidad de flujo.

Los datos almacenados se recuperan fácilmente a través del panel de puertos serie o Ethernet traseras a través de nuestro software APICOM o desde el panel frontal, lo que permite a los operadores realizar diagnósticos predictivos y análisis de datos mejorada por las tendencias de los parámetros de seguimiento. Varios periodos de promedio de un minuto en 365 días están disponibles para más de un periodo de un año. [38]

## **Model T300/T300M Carbon Monoxide Analyzer**

La familia de analizadores T300 es un analizador controlado por un microprocesador que determina la concentración de monóxido de carbono ( $CO$ ) en un gas de muestra extraída a través del instrumento. Se utiliza un método basado en la ley de *Beer-Lambert*, una relación empírica que relaciona la absorción de la luz con las propiedades del material a través del cual la luz está viajando a una distancia definida. En este caso, la luz es radiación infrarroja ( $IR$ ) que se desplaza a través de una cámara de muestra lleno de gas teniendo una concentración variable de  $CO$ .

El T300/T300M utiliza filtro de correlación de gases (GFC) para superar los efectos de interferencia de otros gases (como el vapor de agua) que también absorben  $IR$ . El analizador pasa el  $IR$  a través de una rueda de giro formada por dos cámaras separadas: una que contiene una alta concentración de  $CO$  conocidos como la referencia, y el otro que contiene un gas neutro conocido como la medida. La concentración de  $CO$  en la cámara de muestra se calcula tomando la relación de la medida instantánea y valores de referencia y luego compensar la relación de la temperatura y la presión de la muestra. [39]



Figura 0.1 Rack de aparatos de medición.

Estos dispositivos mandan una medición a la central de procesamiento y monitoreo, donde se hace la validación de que los datos obtenidos sean confiables y puedan ser almacenados y publicados en la página oficial de la institución. La figura 9.2 muestra una imagen del centro de control y monitoreo.

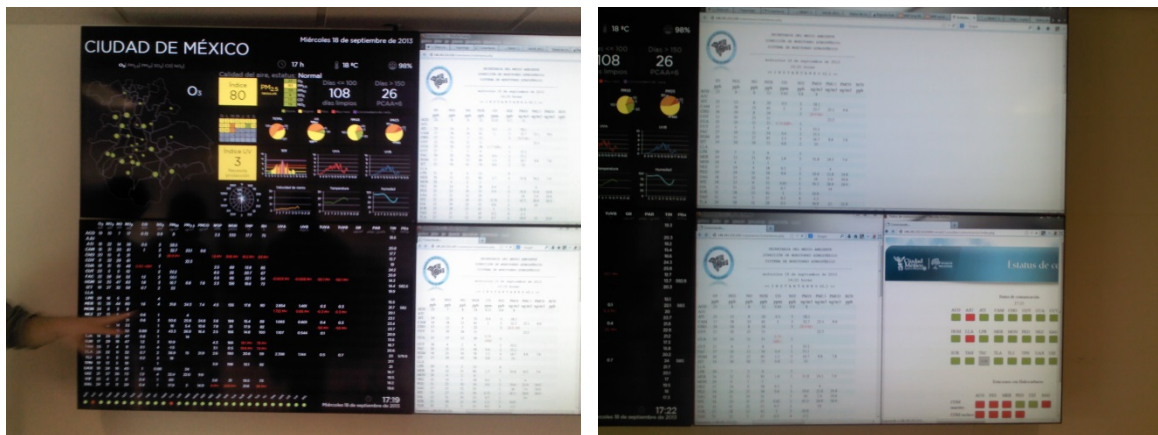


Figura 0.2 Centro de control y monitoreo

## Referencias

- [1] B. E. Jiménez, *Las contaminación atmosférica en México, causas, efectos y tecnologías apropiadas.*, México, D.F.: Limusa, 2001.
- [2] J. Barrón, *Modelado de un sistema de supervisión de la calidad del aire usando técnicas de fusión y redes neuronales*, Madrid, 2010.
- [3] S. Chattopadhyay, «Prediction of mean monthly total ozone time series,» *International Journal of Remote Sensing*, 2008.
- [4] «Comisión Intersecretarial de Cambio Climático,» [En línea]. Available: [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx). [Último acceso: 2012].
- [5] S. Shukla, «Air Quality Prediction Using a Neuro-Fuzzy System,» *IOSR Journal of Engineering*, vol. 2, Mayo 2012.
- [6] L. W. Young y H. Choi Nam, *The reliability of pollution prediction with regression analysis and the possibility of dispersion and receptor models.*, Corea del Norte.
- [7] A. Rahmani, M. Teshnehlab, M. Abbaspou y S. Setayeshi, «Shortterm prediction of air pollution using td-cmac neural network model,» de *World Automation Congress*, Sevilla, 2004.
- [8] M. Negnevitsky, «Air Quality Prediction Using a Neuro-Fuzzy System,» *FUZZ-IEEE*, 2001.
- [9] S. Kim y J. Kim, «Fuzzy decision support system to the prediction of ozone concentrations,» *Industrial Electronics*, 2001.
- [10] R. Foxall, I. Krmar, G. Cawley y D. Mandic, «Nonlinear modelling of air pollution time series,» *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2001.
- [11] K. Zhang, W. Fan, X. Yuan, I. Davidson y X. Li, «Forecasting Skewed Biased Stochastic Ozone Days: Analyses and Solutions,» *ICDM*, 2006.
- [12] E. Martínez y Y. Díaz de Mera, *Contaminación atmosférica*, vol. XLV, Castilla la Mancha: Universidad de Castilla la Mancha, 2004.
- [13] S. Manahan, *Introducción a la química ambiental*, Reverte, 2007.
- [14] World Health Organization Regional Office for Europe, *Air quality guidelines for Europe*, Copenhagen, 2000.

- [15] Secretaría de Medio Ambiente, «Dirección de Monitoreo Atmosférico,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=2&opcioninfoproductos=22>. [Último acceso: 12 Febrero 2013].
- [16] R. S. Montero, Clasificador Híbrido de Patrones, basado en la Lernmatrix de Steinbuch y el Linear Associator de Anderson-Kohonen, Distrito Federal: CIC Instituto Politécnico Nacional.
- [17] G. Palm, F. Schwenker, F. Soomer y A. Strey, Neural Associative Memories, D. o. N. I. Processing, Ed., Ulm: Fakultät für Informatik, Universität Ulm, 1997.
- [18] T. Kohonen, Correlation Matrix Memories, H. U. o. Technology, Ed., Otaniemi: Department of Technical Physics, 1972, pp. 353-359.
- [19] P. Simpson, Artificial Neural Systems, New York: Pergamon Press, 1990.
- [20] K. Steinbuch, «Die Lernmatrix,» *Kybernetyk*, vol. 1, n° 1, pp. 36-45, 1 1 1961.
- [21] F. Nichtdigitale y K. Steinbuch, «Lernmatrizen als Perzeptoren,» *Kybernetik*, vol. 1, n° 3, pp. 117-124.
- [22] D. C. Y. Marquez, Modelos Asociativos Alfa-Beta, D.F.: Edgar Fernández C., 2007.
- [23] T. Kohonen, Self-Organization and Associative Memory, Springer Berlin Heidelberg, 1989.
- [24] J. Anderson, E. Rosenfeld y A. Pellionisz, Neurocomputing 2, MIT Press, 1990, pp. 351-355.
- [25] M. H. Hassoun, Fundamentals of Artificial Neural Networks, MIT Press, 1995.
- [26] G. Ritter, P. Sussner y J. Diaz de Leon, «Morphological associative memories,» vol. 9, pp. 281-293, 1998.
- [27] M. d. H. y. A. Públicas, «Métrica V3,» [En línea]. Available: [http://administracionelectronica.gob.es/?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P60085901274201580632&langPae=es](http://administracionelectronica.gob.es/?_nfpb=true&_pageLabel=P60085901274201580632&langPae=es). [Último acceso: 2012].
- [28] J. García, I. Aguinaga y A. Mora, Aprende Linux como si estuviera en primero, San Sebastian, 2000.
- [29] University of Wisconsin-Madison, «Mac OS X (10.5) - User Interface Changes,» 07 10 2007. [En línea]. Available: <http://helpdesk.wisc.edu/page.php?id=6609>. [Último acceso: 4 Septiembre 2013].

- [30] M. Corporation, C# Language Specification 3.0, 2007.
- [31] J. Byous, «Java technology: The early years,» *Sun Developer Network*, 1998.
- [32] B. Stroustrup, *The C++ Programming Language*, Tercera ed., New Jersey: AT&T Labs, 1997.
- [33] J. Drake y J. Worsley, *Practical PostgreSQL*, Manhattan: O'Reilly, 2002.
- [34] L. A. Casillas, M. Gilbert Ginesta y O. Pérez Mora, *Base de Datos en MySQL*, Cataluña: UOC.
- [35] Universidad Autónoma del Estado de México, «MySQL,» UAEM, México.
- [36] Teledyne, «MODELS T703 and T703U». USA Patente 07223C DCN 6572, 21 Diciembre 2012.
- [37] Teledyne, «Model T100». USA Patente 06807C DCN6650, 22 Abril 2013.
- [38] Teledyne, «Model T200». USA Patente 06858D DCN6646, 1 Febrero 2013.
- [39] Teledyne, «Model T300/T300M Carbon Monoxyde Analyzer». USA Patente 06864B DCN6314, 14 Febrero 2012.