

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla  
Centro Interdisciplinario de Posgrados  
Investigación y Consultoría  
Departamento de Ingeniería  
Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección  
de Tecnología

Aplicación de la tecnología de inteligencia de negocios como una estrategia de análisis que contribuya a llevar un control de la calidad del aire y de las variables climáticas, así como a proporcionar instrumentos para mitigar el cambio climático en la zona sur del valle de Puebla.

Tesis que para obtener el Grado de Doctor  
en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Presenta

María Teresa Torrijos Muñoz



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico este trabajo de investigación a

*Guillermo Marín Torrijos,*

*Guillermo Marín Dorado*

y a la memoria de mis padres

*Aurora Muñoz y Adolfo Torrijos*

en mínima reciprocidad

## **Agradecimientos**

A Dios por haberme permitido concluir este proyecto de investigación.

A mi Director de tesis, el Dr. Abraham Sánchez López por su tiempo, su profesionalismo y por el gran apoyo que me brindó durante la realización de esta tesis.

A mis asesores la Dra. María Auxilio Osorio y al Dr. Héctor Montiel, por sus consejos y por su apoyo.

Al Dr. José Pablo Nuño de la Parra y al Ing. Carlos Marín Dorado porque sin su confianza no hubiera podido iniciar este proyecto.

A la Dra. Judith Cavazos Arrollo por su calidez humana, sus enseñanzas y sobre todo por su apoyo incondicional.

A Guillermo Marín Torrijos y a Guillermo Marín Dorado por su enorme paciencia, por su apoyo y su invaluable amor.

# ÍNDICE GENERAL

## INTRODUCCIÓN

### **CAPITULO 1. Propósito y organización**

1.1.	Planteamiento del problema	1
1.2.	Preguntas de investigación	2
1.3.	Propósito de la investigación	3
1.4.	Objetivo general	3
1.5.	Objetivos específicos	3
1.6.	Justificación de la investigación	4
1.7.	Alcance de la investigación	6
1.8.	Propuesta de solución	9
1.9.	Organización del estudio	12

### **CAPITULO 2. Cambio climático**

2.1.	Cambio climático de origen antropogénico	14
2.2.	Escenarios de cambio climático	17
2.2.1.	Escenarios de cambio climático en relación al desarrollo económico	19
2.2.2.	Escenarios de cambio climático en relación a precipitación y temperatura	20
2.3.	Huella de carbono	22
2.3.1.	Huella primaria	23
2.3.2.	Huella secundaria	24
2.4.	Índices de cambio climático	24

### **CAPITULO 3. Gases efecto invernadero**

3.1. Relación de los gases de efecto invernadero con el cambio climático	27
3.2. Impacto de los GEI en la Atmósfera	29
3.3. Impacto de los GEI en la salud del ser humano	30
3.3.1. Bióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	31
3.3.2. Bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	32
3.3.3. Material particulado (PM)	34
3.3.4. Plomo (Pb)	37
3.3.5. Monóxido de carbono (CO)	38
3.3.6. Ozono (O <sub>3</sub> )	39
3.4. Emisiones GEI	40
3.4.1. Fuentes puntuales y de área	41
3.4.2. Fuentes de área	42
3.4.3. Fuentes de área misceláneas	43
3.4.4. Fuentes móviles	43
3.4.5. Fuentes naturales	45
3.5. Marco normativo para los GEI	47
3.6. Inventario nacional de GEI	47

### **CAPITULO 4. Planeación estratégica de cambio climático**

4.1. Planeación estratégica en el sector público	51
4.2. Planeación estratégica del medio ambiente	53
4.3. Planeación estratégica de cambio climático mundial	57
4.3.1. Plan estratégico de la OMM	58
4.3.2. Programa de las naciones unidas para el cambio climático	61

4.3.3. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático	62
4.3.4. Convenio marco de las naciones unidas para el cambio climático	61
4.3.5. Protocolo de Kyoto	65
4.4. Planeación estratégica para el cambio climático en México	67
4.5. Planeación estratégica en las entidades federativas	74
4.5.1. PEACC, Nuevo León	76
4.5.2. PEACC, Guanajuato	76
4.5.3. PEACC, Veracruz	78
4.5.4. PEACC, Hidalgo	78
4.5.5. PEACC, Distrito Federal	79
4.5.6. PEACC, Tabasco	80
4.5.7. PEACC, Chiapas	80

## **CAPITULO 5. Inteligencia de negocio aplicada al estudio de cambio climático en la zona sur del valle de Puebla**

5.1. Inteligencia de negocios	82
5.2. Dominio de la aplicación	85
5.2.1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	85
5.2.1.1. SEMARNAT y la calidad del aire	86
5.2.1.2. SEMARNAT y cambio climático	86
5.2.1.3. Misión, visión y objetivos estratégicos de SEMARNAT	88
5.2.2. Instituto Nacional de Ecología	89
5.2.2.1. INE y la calidad del aire	89
5.2.2.2. INE y cambio climático	90
5.2.2.3. Misión, visión y objetivos estratégicos del INE	91

5.2.3. Indicadores de calidad del aire	93
5.2.4. Indicadores de cambio climático	96
5.3. Selección de datos	102
5.4. Preproceso de datos	106
5.5. Transformación	109
5.6. Minería de datos	111
5.6.1. Proceso de minería de datos	112
5.6.2. Algoritmo de minería de datos	117
5.6.2.1. Series de tiempo	118
5.6.2.2. Predicción para series de tiempo	119
5.6.2.3. Algoritmo ARIMA	123
5.6.2.3.1. Propiedades ARIMA	125
5.6.2.3.2. Esquemas de identificación ARIMA	128
5.6.2.3.3. Parametrización ARIMA	129

## **CAPITULO 6. Resultados**

6.1. Calidad del aire	133
6.2. Variables climáticas	138
6.3. Calidad del aire y variables climáticas	141

## **CAPITULO 7. Conclusiones**

### **Referencias Bibliográficas**

## **Resumen**

*El aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera afecta la salud de millones de personas y es el principal factor que ha modificado la naturaleza del cambio climático de nuestro planeta. Ante esta situación es necesario llevar a cabo acciones que nos permitan adaptarnos más rápidamente a este cambio y mitigar los efectos que está produciendo.*

*Si bien esta problemática ha sido estudiada a nivel mundial por el grupo de expertos sobre cambio climático, corresponde ahora a los jefes de las naciones bajar de nivel, establecer estrategias y coordinar acciones que contribuyan al conocimiento de esta problemática, ya que se reconoce que se presenta en formas diferentes, dependiendo de la situación geográfica y del nivel de desarrollo*

*Es por ello que el uso de la información climática será la clave que genere conocimiento científico para la toma de decisiones aplicables al diseño de políticas públicas.*

*En este sentido se propone, como alternativa viable, aplicar la tecnología de inteligencia de negocios como una estrategia de análisis que contribuya a llevar un control de la calidad del aire y de las variables climáticas, así como a proporcionar instrumentos para mitigar el cambio climático en la zona sur del valle de Puebla.*

## **Abstract**

*The increase of greenhouse gases in the atmosphere affects the health of millions of people and it is the main factor that has changed the nature in climate change on our planet. In this way, it is necessary to take actions that allow us to adapt quickly to this change and decrease the effects it is producing.*

*While this problem has been studied worldwide by the expert group on climate change, is now up to the leaders of nations to demote, develop strategies and coordinate actions to contribute for the knowledge of this problem, as it is recognized that is presented in different ways, depending on the geographical location and the level of development.*

*That is why the use of climate information is the key to generate scientific knowledge for decision-making to the design of public policies.*

*In this sense, it is propose, as a viable alternative, apply technology of business intelligence as an analysis strategy to contribute to keep track of air quality and climate variables, and to provide instruments to mitigate climate change in the southern part of the valley of Puebla.*

## INTRODUCCIÓN

La realidad nos enfrenta al hecho de que el deterioro ambiental amenaza seriamente el desarrollo actual y futuro de las naciones. La pérdida de ecosistemas y su biodiversidad, la degradación de los suelos, la contaminación del aire y la cada vez más acentuada disminución en la disponibilidad de agua, son sólo algunos de los problemas ambientales más conocidos a los que nos estamos enfrentando. A éstos, ahora debemos sumarle uno más: el cambio climático global que, por la magnitud de su extensión y por todas las implicaciones, sociales, económicas y ambientales que involucra, compromete seriamente el futuro de casi todos los países del mundo, incluido México.

Abordar el desafío de la adaptación y mitigación del cambio climático, esto es conducir planes que permitan reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los países en desarrollo y que permitan al mismo tiempo prepararnos para los cambios que la naturaleza de nuestro planeta está experimentando, requiere no sólo un cambio en el enfoque de las políticas sobre clima y desarrollo, sino también la adopción de un pensamiento estratégico gubernamental y ciudadano sobre las mismas.

Una de las tareas fundamentales en el desarrollo de capacidades de adaptación ante el cambio climático es el uso de la información climática y en particular de los pronósticos del clima que generen conocimiento científico para la toma de decisiones aplicables al diseño de políticas públicas. Aún con las imprecisiones propias de un sistema de pronóstico, la información puede valer millones de dólares cuando se aprovecha en la toma de decisiones.

Nuestro país y en particular el estado de Puebla, cuenta con datos invaluable que se encuentran subaprovechados y escasamente se utilizan en la toma de decisiones en materia ambiental. La información climática no sólo es útil para prevenir efectos desfavorables, sino también para el aprovechamiento de ciertos eventos favorables, como es el caso de los ciclones tropicales, que son una de las principales fuentes de precipitación en el país, contribuyen a la recarga de acuíferos y aumentan el volumen de agua almacenado en las presas. Aprovechar el uso de la información climática en la planeación y en la toma de decisiones sobre acciones preventivas o de emergencia ante un evento extremo puede significar una oportunidad. La oportunidad de empezar a abandonar los combustibles fósiles que impulsaron la Revolución Industrial y de impulsar una nueva revolución, basada en las energías renovables que son las únicas capaces de salvar el clima y de generar los empleos tan necesarios en un contexto de crisis económica.

Considerando la oportunidad, el trabajo de investigación que aquí se presenta pretende aportar una estrategia de análisis que contribuya a llevar un control de la calidad del aire y de las variables climáticas, así como a proporcionar instrumentos para mitigar el cambio climático en la zona sur del valle de Puebla.

El cambio climático, aún a escalas regionales, es un problema de enorme magnitud que requiere mucho trabajo de investigación y colaboración, requiere voluntad política, visión de largo plazo y compromiso de todos con los bienes comunes. No es sólo una discusión de capitales, no es sólo una cuestión de quién tiene más o menos poder, más o menos culpa, es simplemente preservar la vida para quienes habitamos este planeta.

# CAPITULO 1

## **Propósito y organización**

## **1.1.Planteamiento del problema**

La ciencia del cambio climático es confiable y su dirección es muy clara, pero no sabemos con exactitud cuándo y dónde se producirán los efectos y las repercusiones particulares. Aún cuando el cambio climático es un problema de carácter global, las estrategias que se generen dependerán y son específicas de un lugar o región.

En el estado de Puebla, el crecimiento urbano, la demanda de bienes y servicios, la sobre explotación de los recursos naturales, el transporte, la industrialización, el excesivo uso de combustibles de origen fósil; han generado un significativo costo ambiental, el cual se ha visto reflejado en las condiciones de la calidad del aire, afectando escenarios locales, regionales y por supuesto contribuyendo con el cambio climático global y en consecuencia afectando a la salud de la población (Semarnat & GEP-SMRN, 2006 y Puga, 2012).

El estado de Puebla es el cuarto estado del país más vulnerable ante el “cambio climático”, de acuerdo con un ranking nacional elaborado por el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente contenido en el proyecto de investigación titulado “Economía del cambio climático” que en 2007 elabora María Eugenia Ibararán Viniestra.

Ibararán Viniestra menciona que el estado de Puebla tiene alta vulnerabilidad por su irregular crecimiento económico, bajo nivel de recursos humanos en materia de educación y salud, así como la capacidad de sus ecosistemas, pues admite que la entidad está “indefensa” ante un futuro crecimiento industrial acelerado, sobre todo si no cuenta con una estrategia sólida que le permita afrontar a mediano y largo plazo esta situación.

En el estado de Puebla no se encuentra formalmente constituido un plan estratégico de adaptación y mitigación del cambio climático. Si bien existen algunas iniciativas y programas elaborados con este fin, (Semarnat & GEP, 2006; Ibarrarán, 2007 y Castillo, 2009), estos no proporcionan los suficientes artefactos para desarrollar un adecuado análisis de datos, información, sucesos y escenarios; además, estos artefactos no son suficientes para generar un marco de referencia sobre el cual pueda fundamentarse el proceso de toma de decisiones en esta materia dando como resultado una planeación deficiente y un proceso de toma de decisiones que se realiza sobre la marcha de los sucesos y acontecimientos.

## **1.2. Preguntas de investigación**

Haciendo uso de los datos relativos a los denominados “contaminantes criterio” y que han sido recopilados a través del tiempo, por las estaciones de monitoreo atmosférico del Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) ¿Podemos determinar cuáles han sido los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos en la zona sur del valle de Puebla?

Mediante el análisis de los datos, referentes a las variables meteorológicas, que han sido recopilados a través del tiempo por las estaciones de monitoreo atmosférico del SINAICA ¿Qué variaciones del clima se pueden identificar en la zona sur del valle de Puebla que contribuyan al conocimiento del cambio climático global en esta zona?

### **1.3. Propósito de la investigación**

El propósito de la investigación es aportar mejoras a los procedimientos, métodos y herramientas para el análisis de fenómenos ambientales y en particular los relacionados con la calidad del aire y con las variables climáticas, que coadyuven en la elaboración de estrategias ante el fenómeno del cambio climático en la ciudad de Puebla.

### **1.4. Objetivo general**

El trabajo desarrollado en esta tesis tiene como objetivo principal investigar el fenómeno del cambio climático en la zona sur del valle de Puebla para poder aportar información y generar conocimiento que soporte la elaboración de estrategias ante este fenómeno. Para ello se hará uso de las herramientas y metodologías que brindan las Tecnologías de la Información, en particular las denominadas “Inteligencia de Negocios” (Business Intelligence, BI).

### **1.5. Objetivos específicos**

1. Mostrar el comportamiento histórico de los contaminantes criterio y variables climáticas en la zona sur del valle de Puebla.
2. Proponer instrumentos que permitan mejorar el control y la planificación de la toma de decisiones para generar un plan estratégico como medida de adaptación y mitigación al cambio climático en la zona sur del valle de Puebla.

## **1.6. Justificación**

El estado de Puebla ha mejorado su capacidad de resiliencia ante los desastres naturales sin embargo la frecuencia e intensidad de estos fenómenos poco a poco se ha ido incrementando y en la misma medida cada vez más disminuyen los recursos necesarios para enfrentar los resultados. Expertos en la materia opinan que este actuar dejó de ser pertinente y es conveniente enfocar los esfuerzos para generar análisis temprano y decisiones asertivas que permitan estar preparados ante el incremento de frecuencia e intensidad de estos sucesos naturales. Aseguran que la “inacción” ante esta problemática, supone actualmente un riesgo de graves daños para las posibilidades de las generaciones futuras y en especial, para sus componentes más pobres (PNUMA & OMM, 1997; PNUMA & ORPALC, 2005; Stern, 2007 y PNUMA, Red Mercosur & CENIT, 2011).

El clima es el resultado de un complejo equilibrio energético entre diferentes procesos físicos del sistema de nuestro planeta. Se trata de un equilibrio que está siendo constantemente alterado por diversos mecanismos naturales externos e internos que operan en diferentes escalas de tiempo, de este modo, existen cambios continuos en la radiación solar incidente, en la circulación oceánica y en las temperaturas de la superficie del mar, que son capaces de alterar significativamente el clima; sin embargo, a este cambio natural se superpone la acción antropogénica.

El cambio climático inducido por el hombre es causado por las emisiones de GEI que se han acumulado en la atmósfera a lo largo, sobre todo, de los últimos cien años (Stern, 2007 y Semarnat, 2009). Con el objeto de establecer controles adecuados a nivel mundial, se establece la integración del denominado Inventario de Emisiones de GEI.

El estado de Puebla ha participado, durante al menos 8 años, en la integración del Inventario Nacional de Emisiones de GEI asumiendo responsablemente las obligaciones que al estado le competen, ante los compromisos que a nivel internacional, México adquirió, a través de su adherencia al protocolo de Kyoto.

La obligación de integrar el inventario a nivel nacional de las emisiones de GEI ha dejado en Puebla un conjunto de fuentes de datos históricos correspondientes a por lo menos 8 años de la información de los contaminantes criterio, en 4 estaciones de monitoreo, durante los 365 días del año y durante las 24 horas del día.

Por otro lado, considerando que los responsables de políticas, referentes al cambio climático, necesitan una fuente de información objetiva acerca de las causas del cambio, sus posibles repercusiones medioambientales y socioeconómicas, incluso las posibles respuestas, hace que se presente un escenario de oportunidad.

Lo que originalmente surge como un compromiso nacional, se vislumbra ahora como una oportunidad en el estado de Puebla, para analizar, estudiar, proyectar y finalmente generar conocimiento para brindar soporte a las decisiones que los responsables en materia ambiental y cambio climático requieran.

Tomando como base la información y el conocimiento generado y considerando ambos como el principal insumo para la elaboración de un plan estratégico, se considera viable sentar las bases para generar estrategias asertivas en materia de calidad del aire enfocadas a mitigar los efectos del cambio climático.

Aunque durante muchos años hubo debate entre los científicos sobre la realidad del cambio climático y su origen antropogénico, hoy puede decirse que esta duda ya dejó de existir ya que la evidencia del cambio global es contundente (IPCC, 2007).

Las actividades humanas han tenido un efecto en el sistema climático generando cambios que ha impactado e impactará en el sistema económico y social en el futuro. Por tanto, el cambio climático llevará a un cambio global, del cual México y Puebla, no se encuentran exentos (Presidencia de la República Mexicana, 2007; GEP, 2011 y Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

Lo anterior establece que existen nuevos retos para las investigaciones de cambio climático en México y Puebla. Se necesitan estudios que propongan nuevos escenarios de cambio climático a futuro y modelos que permitan evaluar los posibles impactos del cambio climático en los sistemas biofísicos.

### **1.7. Alcance de la investigación**

1. Se consideraron los datos que determinan el estado de la atmósfera en la ciudad de Puebla.
  
2. Las zonas geográficas para análisis
  - 2.1. Zona norte de la ciudad (Estación Tecnológico),
  - 2.2. Zona centro poniente (Estación Ninfas),
  - 2.3. Zona noreste (Estación Serdán) y
  - 2.4. Zona sur de la ciudad (Estación Agua Santa)

3. El periodo histórico correspondiente a los años 2000 al 2011
4. Los doce meses (enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre),
5. Los 28,29,30,31 días (número del mes) del mes
6. Las 24 horas (hh,mm,ss) de un día.
7. Las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno).
8. Los contaminantes
  - 8.1. Dióxido de azufre.
  - 8.2. Dióxido de nitrógeno.
  - 8.3. Material particulado.
  - 8.4. Plomo.
  - 8.5. Monóxido de carbono.
  - 8.6. Ozono.
9. Las variables climáticas
  - 9.1 Granizo.
  - 9.2 Temperatura media,
  - 9.3 Temperatura máxima.

- 9.4 Temperatura mínima.
- 9.5 Humedad relativa.
- 9.6 Radiación solar.
- 9.7 Velocidad del viento.
- 9.8 Ráfagas máximas de viento.
- 9.9 Presión atmosférica.
- 9.10 Presión barométrica.
- 9.11 Cámara de visibilidad.
- 9.12 Precipitación total como nieve.
- 9.13 Lluvia.
- 9.14 Tormenta.
- 9.15 Nieve.
- 9.16 Niebla.
- 9.17 Temperatura máxima mensual.
- 9.18 Temperatura mínima mensual.
- 9.19 Temperatura media mensual.
- 9.20 Precipitación total mensual.
- 9.21 Promedio de la velocidad del viento mensual.
- 9.22 Ráfagas máximas de viento mensual.

Es importante mencionar que lo establecido en el alcance de la investigación, quedó supeditado a la suficiencia y calidad de los datos. No obstante los instrumentos que se propongan serán diseñados para trabajar en este alcance supuesto.

## **1.8. Propuesta de solución**

Las Tecnologías de la Información resultarán clave para solucionar el problema del cambio climático, concluyeron los más de 500 asistentes al Simposio sobre las Tecnologías de la Información y el cambio climático celebrado en Quito a principios de julio del 2011.

En el ámbito de las Tecnologías de la Información, los sistemas de Inteligencia de Negocios, constituyen herramientas claves para la toma de decisiones en todos los niveles de gobierno, en los sectores productivos y de la población (Calzada & Abreu ,2009).

La Inteligencia de Negocios se forma por el conjunto de recursos organizados que permiten recopilar, integrar, almacenar, analizar y difundir información en varios formatos y ayudan a describir, explicar, predecir y actuar en función de los eventos relacionados a un problema específico (Peña ,2006).

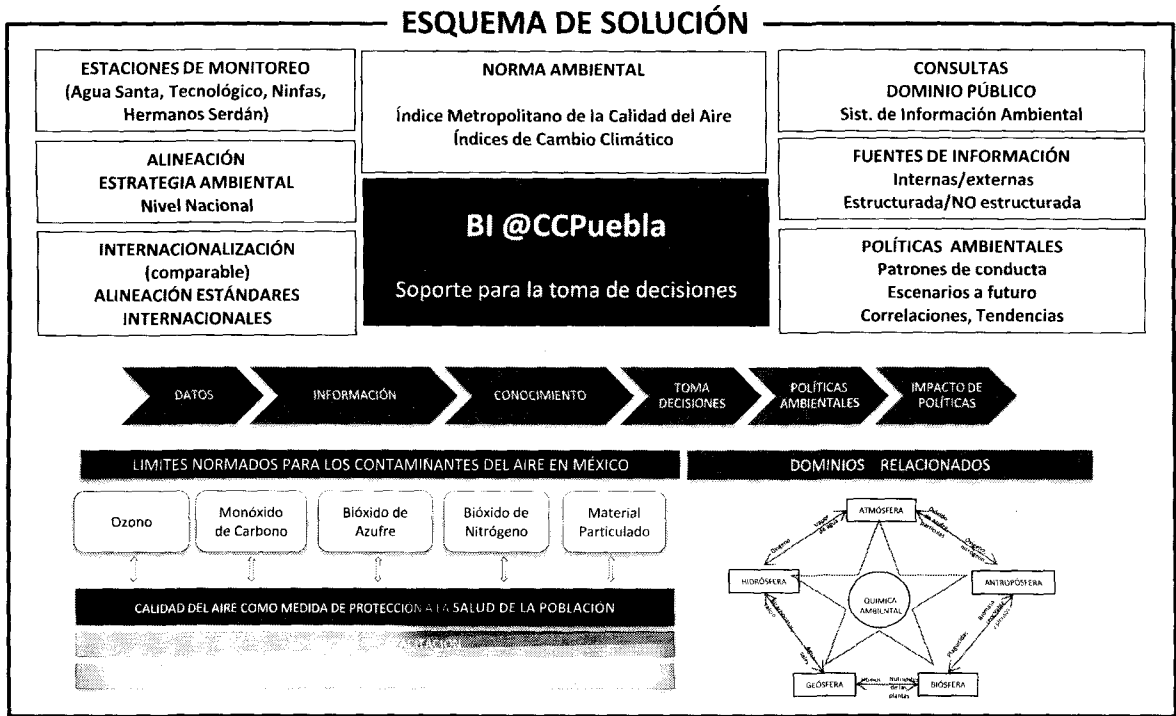
Es por ello que a través del uso de las Tecnologías de la Información y en particular la denominada Inteligencia de Negocios, se busca proporcionar mecanismos que permitan la toma de decisiones informadas y adecuadas para generar estrategias y coordinar las actividades ante los nuevos escenarios del cambio climático, adaptarse a situaciones cambiantes y coadyuvar para reducir la vulnerabilidad en el estado de Puebla.

En lo sucesivo, para referirse a Inteligencia de Negocio se hará uso de BI que corresponde a la terminología original por su traducción al idioma inglés “Business Intelligence” y para referirse a las Tecnologías de la Información se hará uso de TI.

Como apoyo ante la problemática del cambio climático en el estado de Puebla, se presenta **BI @CCPuebla** (Business Intelligence de cambio climático en el estado de Puebla), como propuesta de integración de instrumentos que brinden soporte en el proceso de la toma de decisiones en materia ambiental, específicamente en materia de calidad del aire y variación climática, con el fin de contribuir en la generación de estrategias para la adaptación y mitigación del cambio climático.

La propuesta **BI @CCPuebla** considera los procesos, las herramientas y las tecnologías para convertir los datos de la calidad del aire y las variables climáticas, registrados en el estado de Puebla, en información y a su vez esta información transformarla en conocimiento que coadyuve en la conducción para las actividades de adaptación y mitigación del cambio climático en el estado de Puebla.

En la figura II, se presenta la propuesta de solución adoptada en este trabajo de tesis, en este se consideran como proveedores de información fuentes internas (las propias estaciones de monitoreo) y externas (otras dependencias gubernamentales u organizaciones). La información debe cumplir un fin por lo que se encuentra alineada a los objetivos establecidos a nivel nacional e internacional; de los datos integrados y procesados se podrá obtener información y de esta información conocimiento que podrá usarse como soporte para generar estrategias enfocadas al cuidado de la salud de los individuos así como de su entorno.



**Figura 11. Propuesta de solución adoptada en este trabajo de tesis**

La calidad del aire y las variables climáticas no son elementos aislados en la naturaleza de nuestro planeta ya que se encuentran relacionados con otros dominios de la esfera ambiental, es por ello que se considera la interacción entre los mismos.

El cambio climático de origen antropogénico es influenciado por los GEI y el control de estos viene determinado por la normatividad establecida.

Finalmente la información tiene que ser de dominio público para realizar acciones de acuerdo al alcance de nuestras actividades.

## **1.9. Organización del estudio**

Esta tesis se encuentra organizada de la siguiente forma:

- **Capítulo 2. El cambio climático**

En este capítulo se aborda la problemática del cambio climático así como su impacto económico a nivel mundial y regional. También se presentan los diferentes escenarios e indicadores de estudio establecidos por las Naciones Unidas que son base para los trabajos de investigación y que permiten determinar el deterioro en la calidad del aire y en el clima.

- **Capítulo 3. Impacto de los GEI en el cambio climático**

En el capítulo tres se muestra la importancia que la concentración de GEI de origen antropogénico ha tenido sobre la temperatura media del planeta y que por supuesto es la principal causa del acelere del cambio climático. También se muestra el impacto que estos gases provocan en la salud de los individuos y las medidas que se han establecido con el fin de reducir riesgos y proteger de efectos nocivos a la población.

- **Capítulo 4. Planeación estratégica de cambio climático**

En el capítulo cuatro se presentan los trabajos de planeación estratégica que a nivel mundial, nacional y regional en el ámbito público, privado y en organizaciones sin fines de lucro se han desarrollado. Se muestran las propuestas internacionales bilaterales y las responsabilidades que como Nación, México ha adquirido. Finalmente se presentan los

trabajos que las entidades federativas han llevado a cabo, para alinearse con el Plan Estratégico Nacional para el cambio climático.

- **Capítulo 5. Inteligencia de negocios aplicada al estudio del cambio climático en la zona sur del valle de Puebla**

En el capítulo cinco se desarrolla de manera sistemática el proceso de Inteligencia de Negocios sobre los datos de calidad del aire y variables climáticas, atendiendo desde el dominio de la aplicación, la selección de datos, el preproceso y la transformación hasta la minería e interpretación.

- **Capítulo 6. Conclusiones**

En el capítulo seis se presentan las conclusiones derivadas del análisis e interpretación de la información obtenida en el capítulo anterior.

# CAPITULO 2

## **Cambio climático**

## **2.1. Cambio climático de origen antropogénico**

Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Naciones Unidas, 1992).

Desde mediados del siglo pasado, las actividades del ser humano han afectado el equilibrio con la naturaleza; es así como los océanos, la tierra y el aire han perdido la capacidad de depurar lo que en ellos vierte el ser humano. La temperatura media de la superficie terrestre ha subido más de  $0,6^{\circ}\text{C}$  desde los últimos 15 años. Se prevé que aumente de nuevo entre  $1,4^{\circ}\text{C}$  y  $5,8^{\circ}\text{C}$  para el año 2100, lo que representa un cambio rápido y profundo. Aun cuando el aumento real sea el mínimo previsto, será mayor que en cualquier siglo de los últimos 10.000 años (PNUMA & OMM, 1997; Stern, 2007 y Semarnat, 2009).

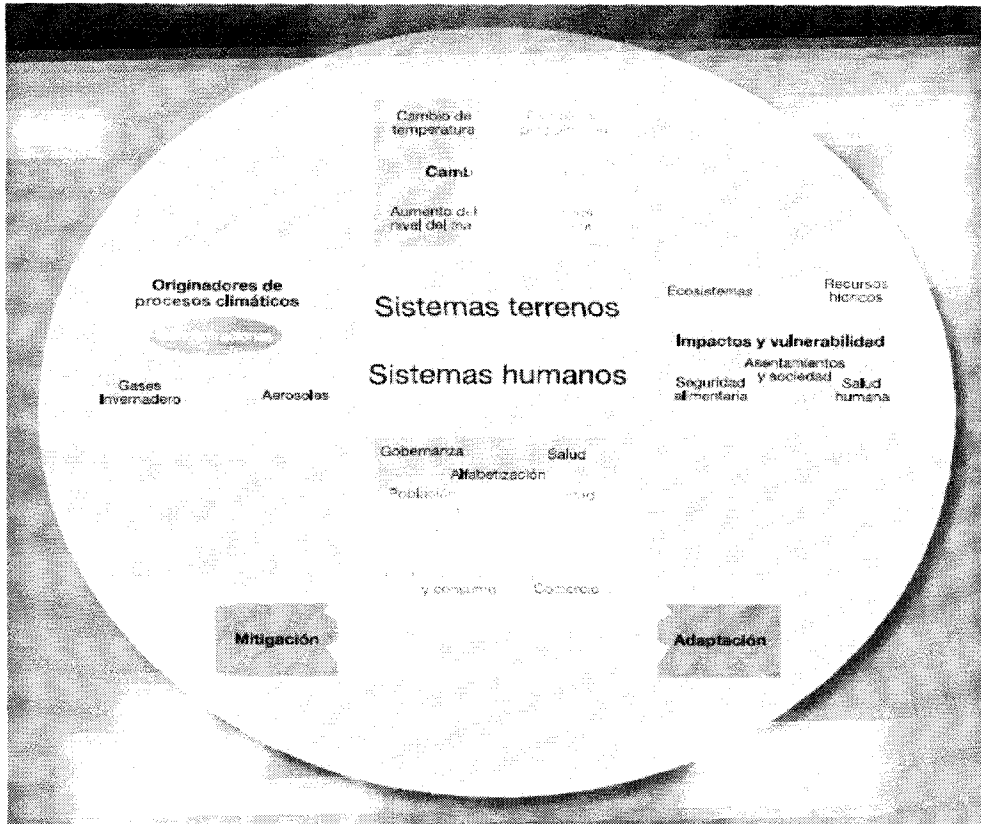
La razón principal del aumento de la temperatura se debe al proceso de industrialización y en particular a la combustión de cantidades cada vez mayores de combustibles de origen fósil como petróleo, gasolina y carbón, a la tala desmedida de bosques y a métodos inadecuados de explotación agrícola. Estas actividades han aumentado el volumen de "gases de efecto invernadero" (GEI) en la atmósfera, sobre todo de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso. Estos gases se producen naturalmente y son fundamentales para la vida en nuestro planeta ya que impiden que parte del calor solar regrese al espacio, pero cuando el volumen de estos gases es considerable, nuestro planeta pierde la capacidad de regresarlos lo que provoca temperaturas artificialmente elevadas y

modifica las condiciones climáticas (Naciones Unidas, 1992; IPCC, 2007 y Semarnat,2008).

En la Fig.2.1.f1 se muestra un marco de las causas e impactos antropogénicos del cambio climático, de sus respuestas e interrelaciones. El cambio climático es un proceso natural que hasta antes del abuso de combustibles de origen fósil se había llevado a cabo paulatinamente permitiendo a los seres vivos que habitamos el planeta adaptarnos de forma natural, sin embargo las emisiones de GEI han incrementado considerablemente y son éstas las que junto con el abuso de aerosoles han provocado que el cambio climático se acelere. Cuatro son los factores determinantes en el cambio climático, el cambio de temperatura, el cambio en la precipitación, el aumento del nivel del mar y los sucesos extremos. Esto genera impacto y deja vulnerables los ecosistemas, los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y la salud humana frenando el desarrollo económico de una región o nación que necesita apoyarse en el uso de nuevas tecnologías, generar nuevas pautas de producción y consumo así como de comercio y socioculturales.

Según reportes de alcance mundial y nacional (Aguilar, 2006; CICC, 2007 y CONAFOR & Semarnat, 2010), el cambio climático modificará la disponibilidad del agua intensificando el ciclo hidrológico. Las sequías y las inundaciones serán más intensas en numerosas zonas. Habrá más lluvia en latitudes altas, menos precipitaciones en el área tropical seca y cambios inciertos en las regiones tropicales. La elevación del nivel del mar provocará inundaciones así como la pérdida de pantanos y humedales. La erosión de las costas permitirá el acceso del agua salada en la superficie de terreno y en las aguas

subterráneas y las diferencias de disponibilidad hídrica entre regiones se harán cada vez más pronunciadas.



**Fig.2.1.fl. Causas e impactos antropogénicos del cambio climático, de sus respuestas e interrelaciones.**

La acidificación del agua del mar, consecuencia directa del aumento de los niveles de dióxido de carbono, tendrá repercusiones importantes para los ecosistemas marinos y posibles consecuencias adversas para reservas pesqueras. La producción de alimentos será sensible al cambio climático, ya que la productividad de los cultivos depende en gran parte de las condiciones climáticas imperantes (Cavazos & Rivas, 2007; Conde, 2007 y Caballero, Lozano, Vázquez & Ortega, 2010).

El cambio climático amplificará las disparidades sanitarias. La Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2007 presentó un cálculo en el cambio climático producido desde los setentas, es ya responsable de más de 150,000 muertes al año, un simple incremento de 1°C en la temperatura global media podría duplicar las muertes anuales. Estas cifras no consideran las muertes relacionadas con el frío que, podrían ser sustanciales. La salud se verá afectada, además por los cambios en el ciclo hidrológico. Las sequías y las inundaciones traen consigo enfermedades múltiples e infecciones, sin considerar la muerte de muchas personas por inundaciones y deshidratación.

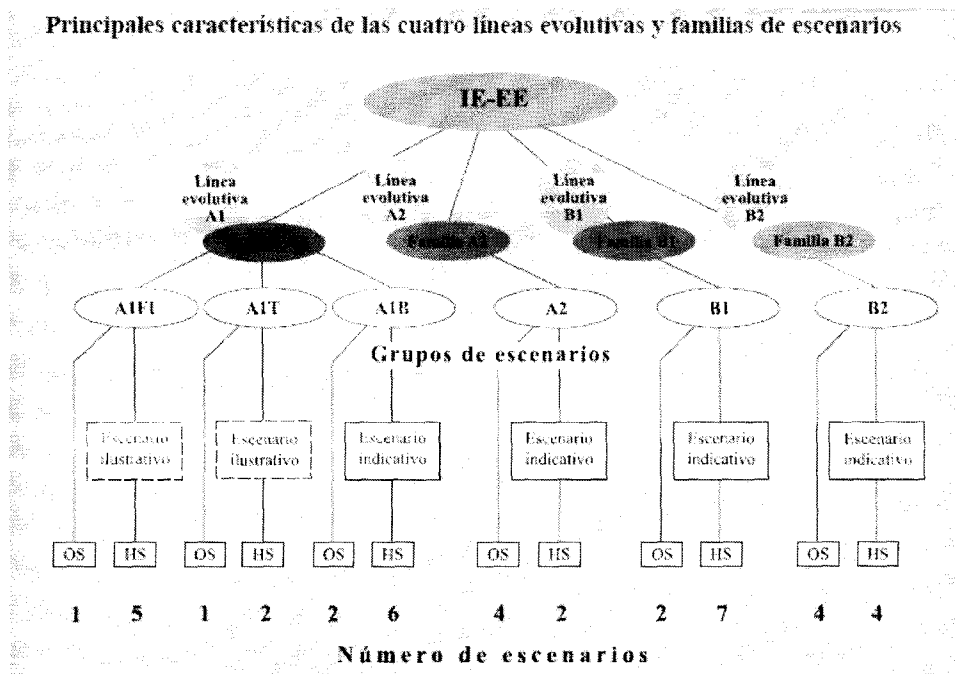
La estabilidad de los edificios se verá afectada. Los daños a la infraestructura aumentarán sustancialmente debido a los cambios de las condiciones de los terrenos producidos por sequías o derretimiento (Jáuregui, 2007 y Cavazos & Rivas, 2007).

No todos los países de América Latina tienen la misma posición frente al cambio climático. Todo ello es consecuencia de sus diferencias geográficas y económicas, su vulnerabilidad ante el fenómeno, su dependencia económica de recursos energéticos fósiles o la fragilidad de sus ecosistemas (Townsend, Sanchez, Soberon, Bartley, Buddemeier & Navarro, 2008).

## **2.2. Escenarios del cambio climático**

En función de estas condiciones, el IPCC ha propuesto un conjunto de escenarios para el cambio climático determinado por las emisiones de los GEI.

Las emisiones futuras de GEI son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico. Su evolución futura es muy incierta. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios se presentan en la Figura 2.2.f1. y son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación. La posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal como se describe en alguno de estos escenarios es muy remota.



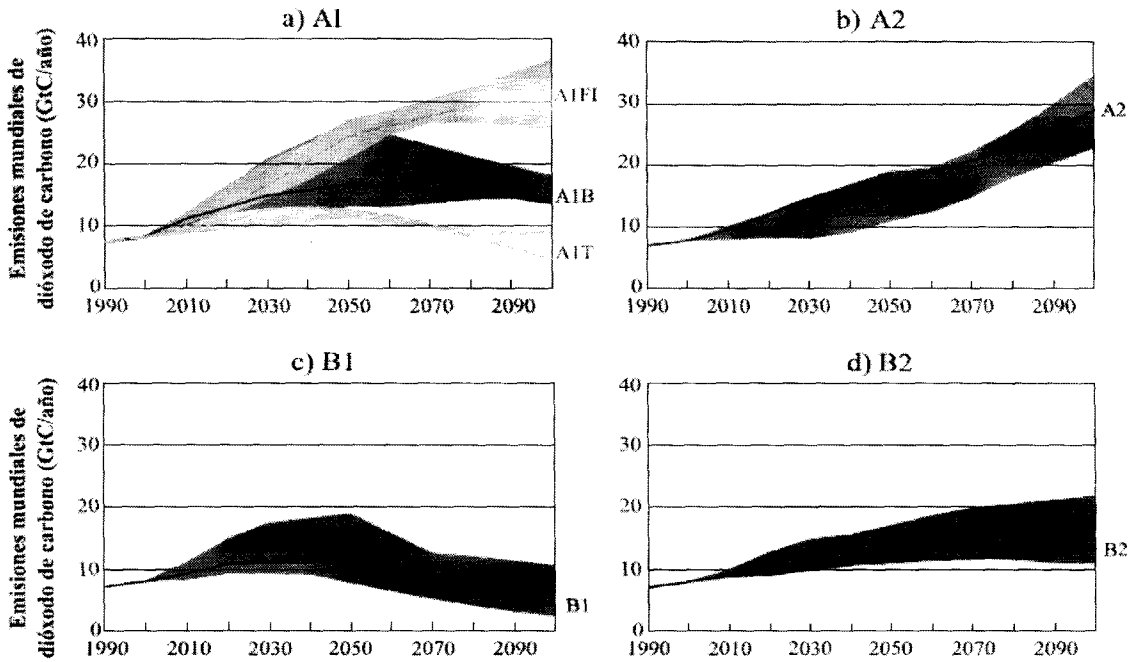
**Figura 2.2.f1. Escenarios de cambio climático. (IE-EE, IPCC, 2000).**

## 2.2.1 Escenarios de cambio climático en relación al desarrollo económico

Los escenarios de emisiones que proyectan las concentraciones de gases de efecto invernadero contemplan diversas hipótesis relativas al desarrollo socioeconómico del planeta. Estos escenarios se clasifican en:

- a) **A1B-Emissiones Media-Alta:** Rápido crecimiento económico regional con la introducción de tecnologías nuevas y eficientes. Existe un balance entre el uso de fuentes de energía fósil y no fósil.
  
- b) **A2-Emissiones Altas:** Existe crecimiento constante de la población, el desarrollo económico está regionalmente orientado y el cambio tecnológico es muy fragmentado y más lento que en otros escenarios.
  
- c) **B1-Emissiones Media-Baja:** Misma población global y cambio en las estructuras económicas. Uso de fuentes de energía eficientes y soluciones globales hacia la economía, la sociedad y el ambiente sustentable.
  
- d) **B2-Emissiones Bajas:** Soluciones locales para la economía, la sociedad y el ambiente sustentable. Está orientado hacia la protección ambiental y la igualdad social que se enfoca en niveles locales y regionales.

En la Fig.2.2.1.f1 se presenta de manera gráfica el comportamiento a través del tiempo de cada uno de los escenarios presentados en el IE-EE.



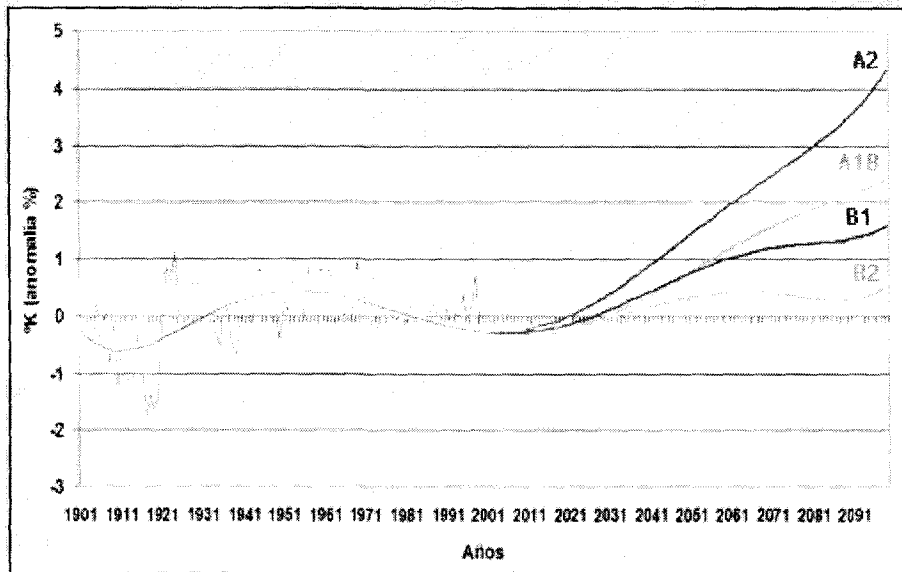
**Fig.2.2.1.f1 Escenarios de emisiones relativas al desarrollo socioeconómico del planeta.**

### 2.2.2. Escenarios del cambio climático en relación a precipitación y temperatura.

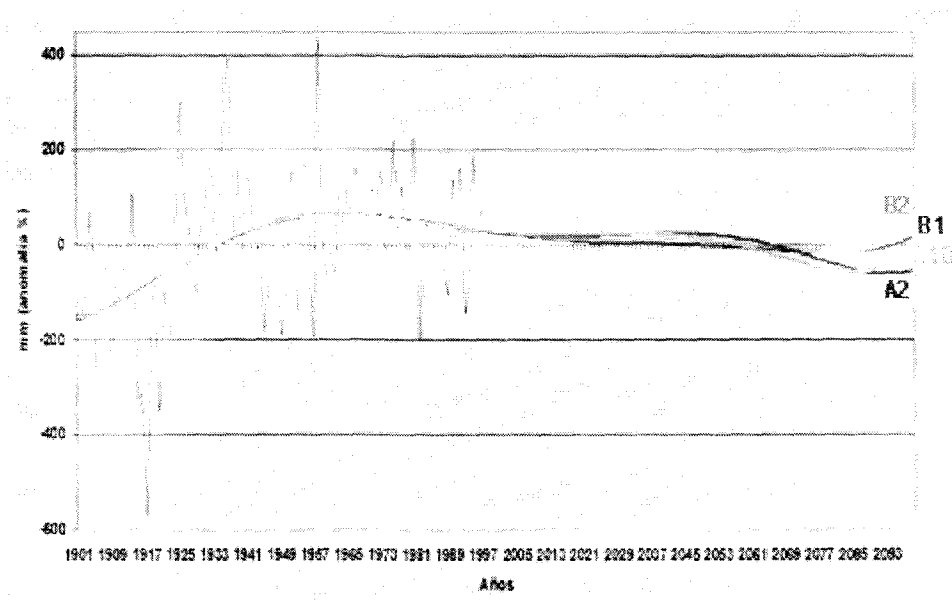
**Escenario 2020.** La precipitación total anual variará entre +5 y -5% y la temperatura media anual aumentará entre 0.6 y 1.2°C.

**Escenario 2050.** La precipitación total anual variará entre +5 y -15% y la temperatura media anual aumentará entre 1.0 y 2.0°C.

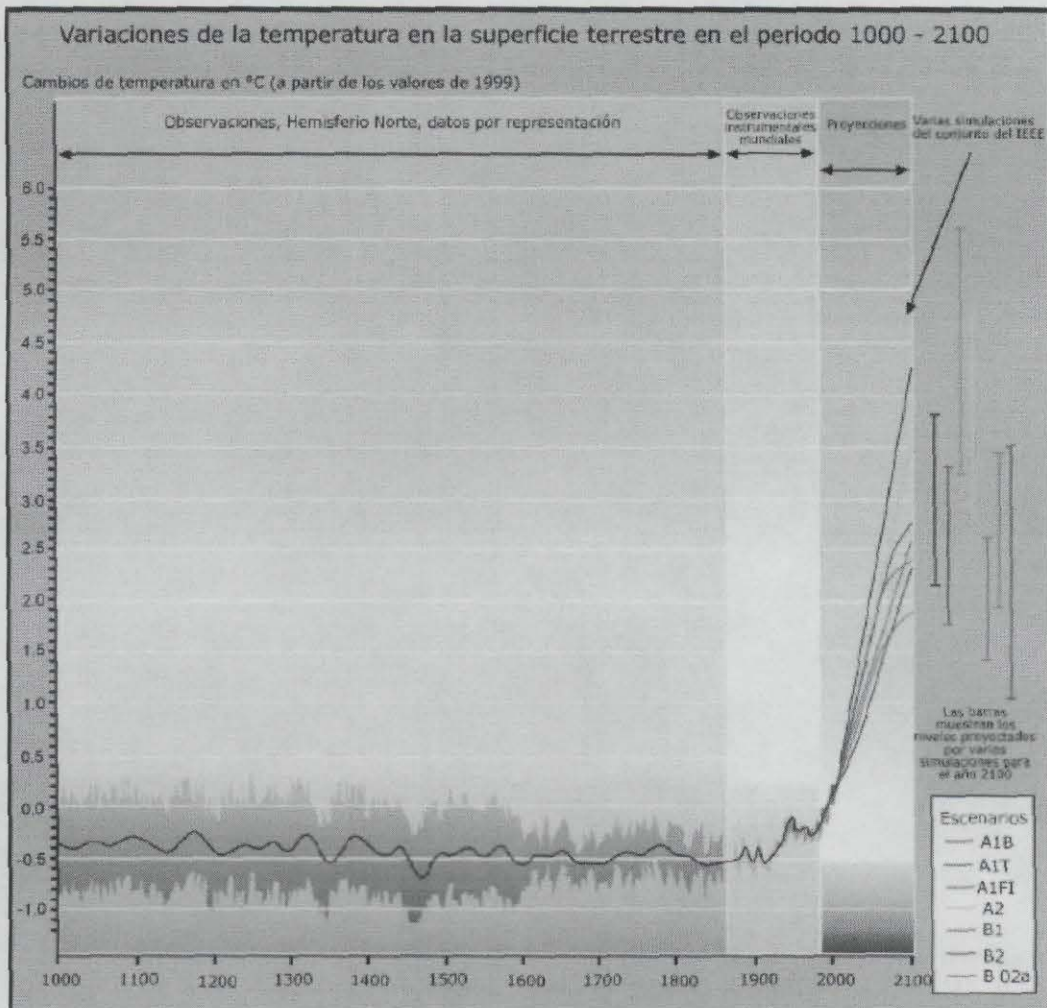
**Escenario 2080.** La precipitación total anual disminuirá entre 5 y 30% y la temperatura media anual aumentará entre 2 y 4°C.



**Fig.2.2.2.f1. Falla de temperatura de 1901 y hasta 2091**



**Fig.2.2.2.f2. Falla de precipitación de 1901 y hasta 2083**



**Fig.2.2.2.f3. Variaciones de la temperatura a través del tiempo**

### 2.3. Huella de carbono.

La huella ecológica se concibe como una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de recursos relacionados con la tierra y el agua, y la asimilación de los residuos para satisfacer las necesidades de una determinada población, entidad, región o país, expresadas en áreas productivas globales (INE & Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia ,2005 y Semarnat ,2011).

La huella ecológica se compone de subhuellas, siendo la más significativa en función de su impacto directo en el cambio climático, la huella de carbono, cuya participación en la huella ecológica alcanza casi el 50%. A pesar de su aparente simplicidad y que ya es bastante conocida, ésta no ha sido todavía claramente definida, lo que ha generado confusión respecto a lo que realmente significa, no habiendo consenso en su medición y alcance, tampoco con relación a la unidad en la cual se presentada.

La huella de carbono es la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por nuestras actividades en el medio ambiente. Se refiere a la cantidad en toneladas o kilos de dióxido de carbono equivalente de gases de efecto invernadero, producida en el día a día, generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte entre otros procesos. Su cálculo sigue los principios del Protocolo de emisiones de gases de efecto invernadero o la norma ISO 14.064.

La huella de carbono individual se conforma por la suma de dos partes, la huella primaria y la secundaria.

### **2.3.1. Huella primaria.**

La huella primaria es la medida de las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, a partir de la quema de combustibles fósiles, incluyendo el consumo doméstico de energía y transporte, sobre los cuales tenemos control directo.

### **2.3.2. Huella secundaria.**

La huella secundaria es la medida de las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> de todo el ciclo de vida de los productos que consumimos –aquellos asociados con la manufactura y eventual descarte. Se refiere a las emisiones de CO<sub>2</sub> de los procesos productivos de los bienes y servicios que consumimos.

### **2.4. Índices de cambio climático.**

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) formado conjuntamente por la OMM, el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha propuesto un conjunto de índices de cambio climático útiles en la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima. Los índices son calculados a partir de las series de datos observados de temperatura y precipitación. Los índices de puntos de observación individuales pueden ser posteriormente agregados en series regionales representativas del área geográfica analizada. Los índices del ETCCDI proveen una base teórica común de modo que pueden ser calculados consistentemente en diferentes regiones del planeta para luego comparar o integrar los resultados de diversas regiones. La Tabla 3.4.t1, muestra en orden alfabético un resumen de los índices del ETCCDI y su descripción.

Los índices de cambio climático tienen amplia aceptación internacional y proveen la información del cambio climático observado, mientras que los escenarios proveen proyecciones posibles para el futuro.

El diseño de políticas de mitigación y estrategias de adaptación ante el cambio climático requiere no sólo de la información de escenarios del clima factible de ocurrir en el futuro ante ciertas condiciones, sino también de la información del clima reciente y de sus cambios observados.

Los índices ofrecen información valiosa para la gestión de riesgos, ya que al observar los índices con detenimiento y encontrar en ellos evidencia de lluvia extrema en varios años, puede estudiarse la respuesta histórica de los sistemas sociales y económicos en esos casos y documentar la capacidad adaptativa con la que se cuenta en la entidad federativa para este tipo de extremo.

A continuación se enlistan los 27 índices básicos del ETCCDI de acuerdo con lo documentado por Zhang y Yang (2004).

FD0. Días con helada.

Tn10p. Frecuencia de noches frías.

SU25. Días de verano.

Tx10p. Frecuencia de días frescos.

ID0. Días con hielo.

Tn90p. Frecuencia de noches cálidas.

TR20. Noches tropicales.

Tx90p. Frecuencia de días calurosos.

GSL. Estación de crecimiento.

WSDI. Duración de periodos cálidos.

TXx. Temperatura máxima extrema.

CSDI. Duración de periodos fríos.

TNx. Temperatura mínima más alta.

DTR. Rango diurno de temperatura.

TXn. Temperatura máxima más baja.

RX1day. Precipitación máxima en 1 día.

TNn. Temperatura mínima extrema.

RX5day. Precipitación máxima en 5 día.

SDDII. Índice simple de intensidad diaria.

R10. Días con lluvia mayor a 10mm.

R20. Días con lluvia mayor a 20mm.

Rnn. Días con lluvia mayor a nn mm.

CDD. Días secos consecutivos.

CWD. Días húmedos consecutivos.

R95pTOT. Días muy húmedos.

R99p. Días extremadamente húmedos.

PRCPTOT. Precipitación total.

# CAPITULO 3

## **Gases de efecto invernadero**

### **3.1. Relación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) con el cambio climático**

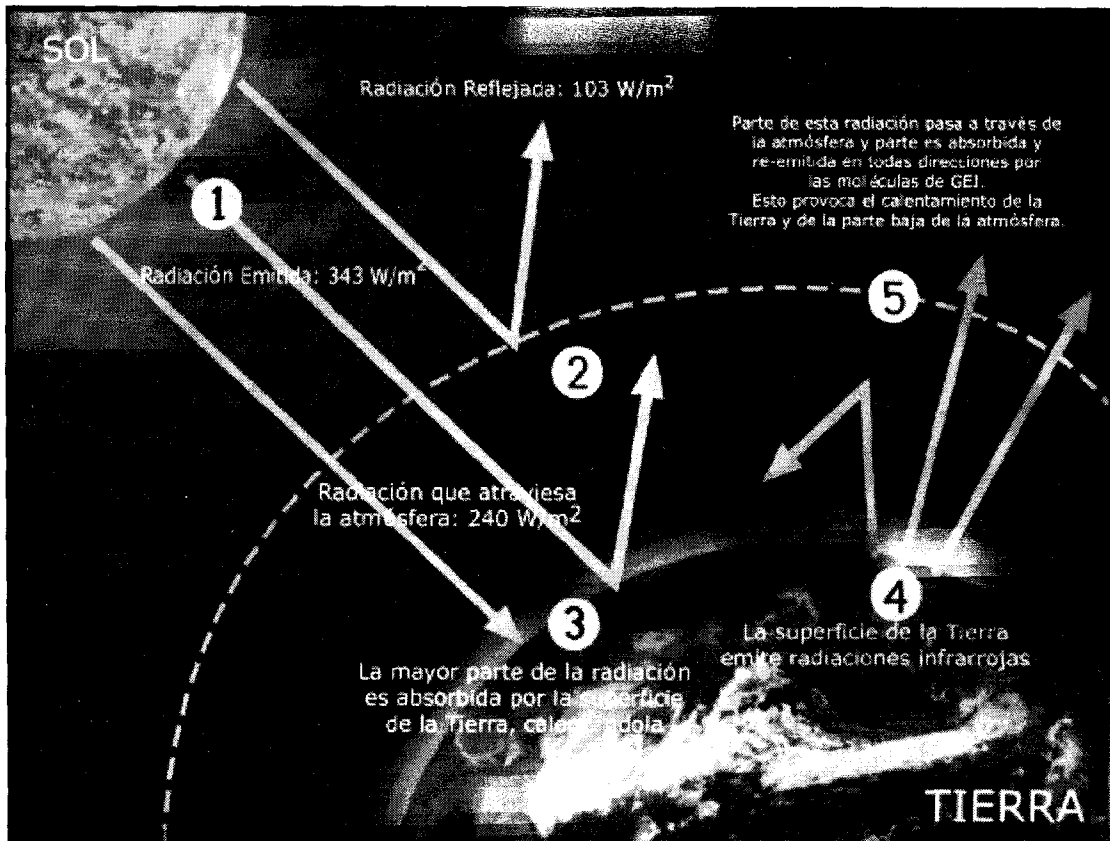
Aunque el cambio climático es un proceso normal en nuestro planeta, el problema es que se ha incrementado rápidamente por la acumulación en la atmósfera de los GEI emitidos por actividades humanas (Conde, 2007 y CEPAL & PNUD, 2008).

Después de un incremento de catástrofes relacionadas con el clima y después de haberse registrado durante varios años consecutivos las temperaturas más altas de las que se tiene constancia hasta el momento, El grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, en su cuarto informe establece:

- La concentración de GEI en la atmósfera de la Tierra está directamente relacionada con la temperatura media mundial del planeta.
- Desde la Revolución Industrial la concentración ha ido aumentando de forma continua y con ella las temperaturas medias mundiales.
- El gas de efecto invernadero más abundante es el dióxido de carbono, que se genera al quemar combustibles fósiles.

Los GEI están presentes de forma natural y son esenciales para la supervivencia de los seres vivos, ya que impiden entre otras cosas que parte del calor del sol sea reflejado de vuelta al espacio, lo cual hace posible la vida en la Tierra. Pero es una cuestión de escala. Un siglo y medio de industrialización incluida la deforestación por tala y ciertos métodos agrícolas han hecho que aumente la cantidad de gases de efecto

invernadero que hay en la atmósfera. A medida que crecen las poblaciones, las economías y el nivel de vida, también crece el nivel acumulativo de emisiones de GEI.



**Fig.3.1.f1.Efecto de los GEI en la atmósfera**

En la Fig.3.1.f1.GEI se puede apreciar el efecto que los GEI generan con la radiación solar. En un proceso natural los rayos del sol deberían llegar a nuestro planeta, la tierra debería absorber la cantidad necesaria y retornar el resto nuevamente al espacio, sin embargo las moléculas de los GEI impiden el retorno de estos rayos al universo quedando atrapada esa energía calorífica incrementando la temperatura natural de la superficie de la tierra. Por otro lado los hoyos en la capa de ozono hacen que los rayos penetren a nuestra atmósfera con mayor intensidad.

### **3.2. Impacto de los GEI en la atmósfera**

La ciencia ambiental considera la atmósfera, la hidrósfera, la geósfera, la biósfera y la antropósfera como las cinco esferas ambientales. Las cinco esferas ambientales interactúan y se solapan, se afectan unas a las otras y experimentan intercambios continuos de materia y energía.

La atmósfera es una capa muy delgada comparada con el tamaño de la Tierra. La mayoría de los gases atmosféricos se encuentran a unos pocos kilómetros sobre el nivel del mar. Además de proporcionar oxígeno para los organismos vivientes, la atmósfera proporciona el dióxido de carbono requerido para la fotosíntesis de las plantas y el nitrógeno que los organismos usan para hacer proteínas. La atmósfera juega una función protectora vital, pues absorbe la radiación ultravioleta más energética del sol, que acabaría con los organismos vivientes expuestos a ella. A este respecto, una parte particularmente importante de la atmósfera es la capa estratosférica de ozono, una forma de oxígeno elemental absorbente de rayos ultravioleta.

Debido a su habilidad de absorber la radiación infrarroja por la que la tierra pierde la energía que absorbe del sol, la atmósfera estabiliza la temperatura de la superficie de la Tierra. La atmósfera también sirve como el sustrato, mediante el cual, la energía solar que incide con más intensidad en las regiones ecuatoriales, se redistribuye a partir del Ecuador hacia otras partes del planeta. Es el medio en que el vapor de agua, evaporado de los océanos como el primer paso en el ciclo hidrológico, se transporta sobre la masa de tierra para precipitarse como lluvia, granizo o nieve sobre ella.

### **3.3. Impacto de los GEI en la salud del ser humano**

Los contaminantes del aire se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterio se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en los Estados Unidos (EU), con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente el término “contaminantes criterio” ha sido adoptado en muchos países, y son:

1. Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
2. Bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)
3. Material Particulado (PM)
4. Plomo (Pb)
5. Monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
6. Ozono (O<sub>3</sub>)

Para cada contaminante criterio se han desarrollado guías y normas. Las guías son recomendaciones que establecen los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, a fin de reducir los riesgos o proteger de los efectos nocivos. Las normas establecen las concentraciones máximas de los contaminantes atmosféricos que se permiten durante un período definido, estos valores límite son diseñados con un margen de protección ante los riesgos y tienen la finalidad de proteger la salud humana y el medioambiente.

### 3.3.1. Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

El bióxido de azufre se genera tanto de fuentes naturales, como de la combustión de compuestos ricos en azufre. Es hidrosoluble y al hidrolizarse da lugar a ácidos lo que le confiere sus características potencialmente agresoras.

El SO<sub>2</sub> pertenece a la familia de los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) que son gases incoloros que se forman al quemar azufre y tienden a disolverse fácilmente en agua. La fuente primaria de SO<sub>x</sub> la quema de combustibles fósiles, que contienen azufre en su composición, como el combustóleo y en particular, el carbón. Sin embargo, dentro de los SO<sub>x</sub>, se incluyen a otros compuestos de azufre de origen natural, como el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) y el di-metilsulfuro (CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub>) proveniente de erupciones volcánicas y de la brisa marina.

La exposición a SO<sub>2</sub> produce irritación e inflamación aguda o crónica de las mucosas conjuntival y respiratoria. El SO<sub>2</sub> puede transformarse en otros productos, tales como partículas finas de sulfato (SO<sub>4</sub>) y niebla de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Se ha visto que bajo la combinación de partículas y SO<sub>4</sub>, suele aumentar el riesgo en la salud al incrementar la morbilidad y mortalidad de enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias. En individuos asmáticos puede producir bronco-constricción.

La combinación, bióxido de azufre/partículas suspendidas totales (SO<sub>2</sub> /PST), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, ha sido la responsable de episodios poblacionales, así como del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias (Sarnat, Coull, Schwartz,

Gold & Suh, 2006 y McConnell, Berhane, Yao, Jerrett, Lurmann, Gilliland, Künzli, Gauderman, Avol, Thomas & Peters, 2006).

El límite máximo normado de concentración de azufre para proteger la salud pública es de 288  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ó 0.110 ppm, promedio en 24 horas, una vez al año.

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) en México es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-022-SSA1-1993.

### **3.3.2. Bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )**

Contaminante generado cuando el nitrógeno contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión. El bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera. Es un contaminante primario y juega un doble papel en materia medio ambiental ya que se le reconoce efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono.

El bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), junto con las partículas suspendidas son los responsables de la capa café-rojiza que se puede ver con frecuencia sobre muchas áreas urbanas. Este gas pertenece a los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), término genérico comúnmente empleado para referirse a un grupo de gases altamente reactivos, que

contienen diferentes cantidades de oxígeno y nitrógeno como el óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno se forman cuando un combustible es quemado a altas temperaturas y/o cuando éste contiene compuestos nitrogenados. Las principales fuentes antropogénicas de NO<sub>x</sub>, son los vehículos automotores, plantas de generación de electricidad, y otras fuentes industriales, comerciales y residenciales que queman combustibles. Los NO<sub>x</sub> pueden formarse también naturalmente, por la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos y en menor grado en tormentas eléctricas.

El aumento progresivo en la exposición al NO<sub>2</sub> puede producir problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos y edema pulmonar.

La acumulación de bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que: inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica (Washam, 2011 y Sarnat, Coull, Schwartz, Gold & Suh, 2006).

La concentración de bióxido de nitrógeno, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el límite máximo normado de 0.21 ppm o lo que es equivalente a 395 µg/m<sup>3</sup>, en una hora una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible.

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en México es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-023-SSA1-1993.

### **3.3.3. Material Particulado (PM)**

Las partículas se definen como cualquier material que existe en estado sólido o líquido en la atmósfera o en una corriente de gas, excepto agua o hielo. Las partículas incluyen polvo, ceniza, hollín, humo y pequeñas partículas de contaminantes. La unidad de medida que con frecuencia corresponde a los diámetros de las partículas, es el micrómetro (millonésima parte de un metro =  $10^{-6}$  m), y suele dársele el símbolo  $\mu\text{m}$  anteriormente se le conocía como micra o micrón, términos que han caído en desuso.

Las partículas pueden variar en formas y composición química. En calidad del aire las características de tamaño y composición química juegan un papel importante en los efectos a la salud y el bienestar del ser humano.

Las partículas primarias están presentes en la atmósfera en la forma que se emitieron y las partículas secundarias se forman en la atmósfera a partir de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno u óxidos de azufre, principalmente. Generalmente las partículas secundarias son más dañinas a la salud que las primarias.

Las partículas se forman por procesos naturales como la polinización de las plantas e incendios forestales y por fuentes antropogénicas que abarca, desde la quema de

combustibles hasta la fertilización de campos agrícolas. Las partículas pueden ser directamente emitidas de la fuente, como partículas primarias y pueden formarse partículas secundarias cuando reaccionan algunos gases en la atmósfera tales como: los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre, el amoníaco, los compuestos orgánicos, etc.

Hace unos quince años su estudio y regulación ambiental se centraba en las partículas suspendidas totales (PST), las cuales son menores de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico. Posteriormente, la atención se centró en las partículas menores de 10  $\mu\text{m}$ , y hasta hace apenas unos años en las partículas finas y ultrafinas, es decir, las menores a 2.5 y 1  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Así, las llamadas  $\text{PM}_{10}$  se pueden dividir, por su tamaño, en las fracciones gruesa, fina y ultrafina, siendo la fracción gruesa la compuesta por partículas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2.5 y 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5-10}$ ); la fracción fina que incluye aquellas partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ), y finalmente, la fracción ultrafina que incluye a las partículas menores de 1  $\mu\text{m}$ .

Entre más pequeñas sean las partículas, estas pueden penetrar directamente hasta el interior de los pulmones con posibles efectos tóxicos debido a sus inherentes características fisicoquímicas. En varios estudios, llevados a cabo en Estados Unidos y en Europa, se ha encontrado que la exposición prolongada a partículas finas provenientes de la combustión es un factor importante de riesgo ambiental en casos de mortalidad por cáncer pulmonar y enfermedades cardio-pulmonares.

Las  $\text{PM}_{10}$  se consideran contaminantes criterio (estándar de calidad del aire que se debe cumplir para asegurar la salud pública) y la norma que se debe cumplir no debe

rebasar los 150 mg/m<sup>3</sup> como promedio de 24 horas. En los últimos años ha crecido la preocupación por las partículas menores a 2.5 µm , también conocidas como PM<sub>2.5</sub> , debido a su alta peligrosidad para la salud humana. El gobierno y las autoridades de salud han comenzado a gestionar una norma de calidad del aire para México con respecto a este tipo de partículas.

Las principales fuentes de partículas son básicamente los procesos de combustión que se utilizan en vehículos; procesos industriales tales como las plantas generadoras de energía, los incineradores, actividades de la construcción, los incendios y las erosión del suelo.

Muchos estudios muestran la relación entre las concentraciones ambientales de partículas y los efectos en la salud. El incremento en las partículas está altamente correlacionado con el ingreso hospitalario por enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio, tales como: deficiencia pulmonar, incremento de problemas respiratorios y muerte prematura. Las partículas afectan de manera directa los pulmones y las vías respiratorias (Woodruff, Parker & Schoendorf, 2006; Sarnat, Coull, Schwartz, Gold & Suh, 2006; Villa, Escalona, Paniagua & Bañuelos, 2007; Muñoz & Sá Carvalho, 2009; Arrollo & Ruiz, 2009 y Campen, Lund, Doyle Eisele, McDonald, Knuckles, Rohr, Knipping, & Mauderly, 2010).

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto a partículas menores de 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la

norma: NOM-025-SSA1-1993; para  $PM_{10}$  en la norma NOM-025-SSA1-1993; y para PST en la norma NOM-024-SSA1-1993.

#### **3.3.4. Plomo (Pb)**

El plomo es un metal que se usaba frecuentemente para fabricar tuberías de agua, recipientes para alimentos, pinturas y gasolina. La fuente primaria de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en los automóviles. Debido a que el plomo no se consume en el proceso de combustión, se emite como material particulado. Uno de los más grandes éxitos ambientales de los dos últimos decenios, ha sido la reducción de plomo en el aire gracias a la sustitución de gasolinas con plomo por gasolinas sin plomo.

El plomo es un contaminante tóxico para los humanos, su difícil remoción del cuerpo hace que se acumule en varios órganos y pueda dañar el sistema nervioso central. Un gran número de estudios científicos (Molina & Molina, 2006; Castillejos, 2006; Sánchez, Gamboa, & Díaz, 2008 y Campen, Lund, Doyle Eisele, McDonald, Knuckles, Rohr, Knipping, & Mauderly, 2010) han documentado los efectos nocivos de la exposición al plomo. La intoxicación aguda produce síntomas como diarrea, vómito, cólico, convulsiones y dolor de cabeza. Su eliminación del cuerpo es posible mediante tratamientos médicos, aunque el daño provocado principalmente al sistema nervioso no es reversible. Los niños con altos niveles de plomo en la sangre presentan desordenes en su comportamiento social y un desarrollo mental restringido con efectos neuroconductuales irreversibles.

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al plomo (Pb) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-026-SSA1-1993.

### **3.3.5. Monóxido de carbono (CO)**

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal, pues impide el transporte del oxígeno a la sangre, lo que puede ocasionar una reducción significativa en la dotación de oxígeno al corazón (Alem, Luján & Bascope, 2005; Molina & Molina, 2006 y Campen, Lund, Doyle Eisele, McDonald, Knuckles, Rohr, Knipping, & Mauderly, 2010).

El monóxido de carbono se forma en la naturaleza mediante la oxidación del metano ( $\text{CH}_4$ ), que es un gas común producido por la descomposición de la materia orgánica. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina por falta de oxígeno.

La concentración de monóxido de carbono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 11.00 ppm o lo que es equivalente a 12,595  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio móvil de ocho horas una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible.

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al monóxido de carbono (CO) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-021-SSA1-1993.

### 3.3.6. Ozono (O<sub>3</sub>)

El ozono no es un compuesto emitido directamente por una fuente específica. Se forma por la reacción y combinación de sus precursores que se encuentran, básicamente, en las emisiones vehiculares e industriales y en los vapores de compuestos como la gasolina y otros solventes orgánicos. Estas emisiones contienen grandes cantidades de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) que reaccionan entre sí y con la ayuda de altas temperaturas y luz solar, forman el ozono troposférico, considerado como un contaminante típico del verano, cuando se dan todas las condiciones para su formación.

El ozono es un compuesto gaseoso incoloro, que posee la capacidad de oxidar materiales. El ozono es un contaminante secundario que se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar.

El ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar y efectos sistémicos en órganos blandos como el hígado.

La exposición continua a altas concentraciones de ozono puede causar daños permanentes en los pulmones. En individuos sensibles, la exposición a niveles bajos de ozono puede ocasionar tos, náusea, irritación en las mucosas de nariz y garganta y congestión en vías respiratorias. Asimismo, puede exacerbar problemas pre-existentes de salud como bronquitis, enfisema, asma y enfermedades cardíacas. La población más sensible a estos problemas son frecuentemente los niños, los ancianos y personas que

realizan actividades al aire libre por largos períodos (McConnell, Berhane, Yao, Jerrett, Lurmann, Gilliland, Künzli, Gauderman, Avol, Thomas & Peters, 2006 y Ralph, Gillen, Tjoa, Staimer, Polidori, Arhami, Sioutas & Longhurst, 2011).

El ozono también daña a las plantas, disminuyendo el rendimiento de muchos cultivos al interferir directamente con la capacidad de las plantas para producir y almacenar alimento. Esta condición repercute directamente en su susceptibilidad a enfermedades, plagas y condiciones climáticas adversas (Wen, Wei, Li, Chang, Peng, Gregory, Jia, Shan, Quan, Wei, Lei, Hong, Shi, & Wu, 2010).

El límite de concentración de ozono para proteger la salud pública debe ser menor o igual a 0.110 ppm, promedio horario, para no ser rebasado una vez al año. Y menor o igual a 0.080 ppm, tomando como el quinto máximo, en un periodo de un año.

El criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al ozono ( $O_3$ ) es el valor normado para la protección de la salud de la población en la norma NOM-020-SSA1-1993.

### **3.4 Emisiones de GEI**

Las emisiones de GEI provienen de una mezcla de miles de fuentes de emisión que van desde chimeneas industriales y vehículos automotores hasta el uso de productos de limpieza y pinturas domésticos. Incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en la contaminación del aire. En general, para los propósitos de un inventario de emisiones, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales:

- Fuentes puntuales o fijas
- Fuentes de área
- Fuentes móviles (de vehículos automotores)
- Fuentes naturales

### **3.4.1. Fuentes puntuales y de área**

La distinción entre fuentes puntuales y de área es arbitraria, pero necesaria para permitir la eficiente recopilación de la información requerida para el desarrollo de inventarios de emisiones. Es deseable contar con información detallada sobre cada punto de emisión; sin embargo, no existe manera práctica en que tal información pueda ser recopilada. El tratar a todos los establecimientos como fuentes puntuales puede incrementar la precisión del inventario, pero esto implica el uso de muchos más recursos para la compilación y mantenimiento del inventario de fuentes puntuales. Un enfoque alternativo es recopilar la información en una base más simple al agregar las fuentes relacionadas dentro de una sola fuente de área.

En México, las fuentes puntuales o fijas son definidas en el Artículo 6 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, como toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Como se indica en el Artículo 111 Bis de la Ley y en el

Artículo 11 del Reglamento mencionado, las fuentes puntuales bajo jurisdicción federal incluyen:

- Los siguientes sectores industriales: químico, petrolero y petroquímico; pinturas y tintas; automotriz; celulosa y papel; acero y hierro; vidrio; generación de energía eléctrica; asbestos; cemento y cal; así como tratamiento de aguas residuales.
- Los siguientes sectores industriales: químico, petrolero y petroquímico; pinturas y tintas; automotriz; celulosa y papel; acero y hierro; vidrio; generación de energía eléctrica; asbestos; cemento y cal; así como tratamiento de aguas residuales.
- Todos los establecimientos, proyectos o actividades (industrial, comercial o de servicios) administrados por entidades públicas Federales.

### **3.4.2. Fuentes de área**

Las fuentes de área representan aquellas que son demasiado numerosas y dispersas como para poder ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales. Colectivamente, sin embargo, las fuentes de área representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes, por lo que deben siempre incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que éste se encuentre completo.

En los inventarios de fuentes de área, los datos de las emisiones se agrupan en grupos de fuentes similares o categorías. Un inventario de fuentes de área generalmente consiste de las siguientes grandes categorías:

- Combustión en fuentes fijas;
- Fuentes semiestacionarias;
- Uso de solventes;
- Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo;
- Fuentes industriales y comerciales ligeras;
- Fuentes agrícolas;
- Manejo de residuos.

### **3.4.3. Fuentes de área misceláneas**

Cada una de estas categorías está integrada por otras subcategorías más específicas que son determinadas por sus procesos de emisión similares o bien, por la similitud en los métodos para estimar sus emisiones.

### **3.4.4. Fuentes móviles (vehículos automotores)**

Las fuentes móviles de emisión están constituidas por los vehículos automotores que incluyen automóviles, camiones y autobuses diseñados para circular en la vía pública. En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM, contaminantes tóxicos del aire y contaminantes

que reducen la visibilidad. Debido a la magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales requeridas para estimar su volumen, los vehículos automotores se manejan separadamente de otras fuentes de área. Las emisiones de vehículos automotores están integradas por diversos contaminantes que son generados por diferentes procesos. Los más comúnmente considerados son las emisiones del escape, que resultan del uso del combustible y que son emitidos a través del escape del vehículo, y una variedad de procesos evaporativos, los cuales resultan en emisiones de COT y que incluyen:

- Emisiones húmedas calientes. Se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de dosificación de éste, una vez que se apaga el motor. El combustible del sistema de dosificación se volatiliza por el calor residual del motor.
- Emisiones evaporativas en circulación. Se producen derivadas de fugas de combustible en fase líquida o de vapor que se presentan cuando el motor está en operación.
- Emisiones diurnas. Son emisiones del tanque de combustible del vehículo debido a altas temperaturas en el líquido y al aumento de la presión de vapor del combustible, las cuales resultan del incremento en las temperaturas ambientales, la aportación de calor del sistema de escape del vehículo o del calor reflejado por el asfalto o superficie de circulación.

- Emisiones evaporativas en reposo. Son distintas de las emisiones húmedas calientes, diurnas y de recarga de combustible, que ocurren debido a la permeabilidad o fugas de los conductos de combustible.
- Emisiones evaporativas de la recarga de combustible. Estas son desplazadas del tanque de combustible durante la recarga del mismo. Si bien el vehículo es la fuente de las emisiones, éstas se presentan mientras el vehículo está en reposo en las estaciones de servicio. Por lo tanto, las emisiones de recarga son tratadas típicamente como fuente de área. Los factores de emisión de recarga pueden ser estimados utilizando el modelo MOBILE u obtenerse de otras fuentes, tales como el AP-42.

#### **3.4.5. Fuentes naturales**

Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden jugar un papel importante en las emisiones de GEI. Es primordial comprender la contribución general de este tipo de fuentes, especialmente en las áreas en las que las emisiones de fuentes naturales pueden ser significativas para el inventario.

A continuación se describen dos fuentes naturales significativas que son comúnmente consideradas en los inventarios de emisiones atmosféricas.

- Emisiones biogénicas. La vegetación, emite cantidades significativas de hidrocarburos a la atmósfera que pueden ser comparables o superiores a las emisiones de las fuentes antropogénicas.
- Emisiones de suelos. El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es producido naturalmente en los suelos como parte de los procesos de desnitrificación. Por su parte, los fertilizantes nitrogenados comerciales constituyen una fuente adicional de nitrógeno, lo cual incrementa las emisiones del suelo de  $N_2O$ . Al igual que con el  $N_2O$ , la tasa de emisiones de  $NO_x$  de los suelos también depende de variables como el tipo de suelo, la humedad, la temperatura, el tipo de cultivo y otras prácticas agrícolas. Se estima que las emisiones de  $NO_x$  provenientes de los suelos constituyen un 16% de la cantidad global de  $NO_x$  en la troposfera.
- La erosión eólica es otro fenómeno natural que genera emisiones. Sin embargo, debido a que dichas emisiones típicamente están asociadas con suelos perturbados, frecuentemente son tratadas como fuentes de área. Otras categorías más pequeñas de fuentes naturales incluyen a las termitas (emisiones de  $CH_4$ ), los relámpagos (emisiones de  $NO_x$ ), los volcanes y la actividad geotérmica (emisiones de  $SO_x$ ).

### **3.5. Marco normativo para los GEI**

La ley general de salud establece en su título séptimo, “Promoción de la Salud”, Capítulo IV , “Efectos del Ambiente en la Salud” que, en materia de efectos del ambiente en la salud de la población, corresponde a las autoridades de salubridad establecer normas, tomar medidas y realizar actividades tendientes a proteger la salud humana ante los riesgos y daños que pudieran ocasionar las condiciones del ambiente, así como determinar los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de los contaminantes atmosféricos. Con base en lo anterior, la Secretaría de Salud ha emitido diversas Normas Oficiales Mexicanas.

Las Normas Mexicanas (NMX) son lineamientos que elaboran los organismos nacionales de normalización, o la Secretaría de Economía en ausencia de ellos. La regulación normativa para su elaboración, está dispuesta por el artículo 54 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, donde se estipulan reglas, especificaciones, atributos métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio , o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado.

### **3.6. Inventario nacional de los GEI**

El conocimiento de los ecosistemas, así como las presiones que los amenazan y las respuestas institucionales que atienden su problemática, son fundamentales para la toma de decisiones en la planeación y gestión ambiental. De acuerdo con lo señalado en Ley

General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Semarnat desarrolla y mantiene el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, sus principales objetivos son servir como base para la formulación de políticas y programas de manejo y conservación ambiental; incorporar los temas ambientales a la toma de decisiones y contribuir a que la sociedad esté informada sobre el estado del ambiente y los recursos naturales.

Con excepción de Guadalajara, Mexicali y Ciudad Juárez, se han logrado mantener dentro de la norma las concentraciones de CO en las otras ciudades; también, las concentraciones de NO<sub>x</sub> se encontraron dentro de los límites establecidos en las normas, salvo en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM); por último, en el caso del SO<sub>2</sub> no se han excedido las normas en ninguna de las ciudades mencionadas.

A pesar de las reducciones en los contaminantes mencionados, en las zonas urbanas de Ciudad Juárez, Puebla, Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM), Zona Metropolitana de Toluca (ZMT), ZMG, ZMVM, Tijuana y Mexicali, se siguen rebasando las normas de calidad del aire para el ozono (O<sub>3</sub>) y partículas con diámetro aerodinámico menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>). Así, en estas ciudades, excepto Tijuana, los niveles de O<sub>3</sub> rebasaron la norma horaria en el 2005 y la norma anual en el periodo 1998-2005. En forma similar, la ZMM, la ZMT, Ciudad Juárez y Mexicali han registrado concentraciones muy elevadas de PM<sub>10</sub> en el periodo 1997-2005, y no cumplen prácticamente en ninguno de estos años, ni con la norma de 24 horas ni con la norma anual (Semarnat, 2011).

El primer inventario nacional de emisiones, la elaboración del Programa Nacional de Monitoreo Atmosférico, el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), la investigación experimental de los contaminantes atmosféricos, los estudios de exposición personal a contaminantes, el uso de herramientas de modelación para la estimación de impactos en la salud y la elaboración de estudios costo-beneficio de medidas de control, en gran medida han contribuido a la generación de información útil para el proceso de toma de decisiones. A continuación se hace un recuento de los estudios llevados a cabo en la materia, seleccionados por su relevancia e impacto para contribuir a la toma de decisiones en la gestión de la calidad del aire en el país.

Durante el periodo 2001-2006 se dio un salto cualitativo en el desarrollo de inventarios de emisiones. El avance hasta ahora había sido parcial, ya que al inicio de la presente administración sólo se contaba con inventarios de emisiones para las principales concentraciones urbanas del país, es decir, las zonas metropolitanas del Valle de México (ZMVM), Guadalajara, Monterrey y Toluca, así como para Ciudad Juárez, Tijuana-Tecate-Rosarito y Mexicali, que se habían formulado como parte de sus correspondientes Programas de Mejoramiento de la Calidad del Aire (PROAIRE), elaborados en su mayoría durante el periodo 1995-2000.

Los inventarios de emisiones son una herramienta básica en la gestión de la calidad del aire porque constituyen un punto de partida para la evaluación de programas de gestión de la calidad del aire. En el 2001 se inició el desarrollo del inventario nacional de emisiones (INEM), con año base 1999, para caracterizar las principales fuentes de emisión de seis contaminantes para cada uno de los 2,443 municipios de la República Mexicana. El INEM-

1999 contiene la estimación de emisiones provenientes de fuentes fijas (industria), móviles (relacionadas con el transporte), móviles que no circulan por carreteras (equipo agrícola y de construcción), de área y naturales (vegetación y fuentes geogénicas, es decir, la actividad volcánica), para óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>), partículas suspendidas menores a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>).

El principal resultado de este proyecto multianual es la información sobre emisiones generada a nivel nacional. Esta información se concentra en tres productos: el informe del inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, el Sistema Nacional de Emisiones (SINE), y el informe final del INEM-1999.

El inventario ha permitido identificar las carencias en la información disponible para la estimación de emisiones. En este sentido, la mayor área de oportunidad identificada durante la conformación del inventario fue el desarrollar mecanismos y estrategias para lograr la disponibilidad de información para la estimación de emisiones de diversas fuentes.

El esfuerzo iniciado hace ya 10 años y en especial el realizado en los últimos cinco años, ha rendido frutos generando información que ha apoyado a la toma de decisiones tanto a nivel federal como estatal, y al mismo tiempo ha contribuido a la generación de conocimiento científico. Sin embargo, se debe continuar avanzando tanto para alcanzar una excelencia en términos de desarrollo de capacidades humanas como de infraestructura analítica.

# CAPITULO 4

## **Planeación estratégica de cambio climático**

#### **4.1. Planeación estratégica en el sector público**

El uso intensivo de la planeación estratégica se da en las organizaciones privadas alrededor de la década de los sesenta. Posteriormente, surge como instrumento de apoyo a la gestión pública en el marco de las iniciativas de la nueva gerencia pública, a mediados de los ochenta en los países de la OCDE (Álamo & García, 2007).

La planeación estratégica es una herramienta de gestión que permite apoyar la toma de decisiones de las organizaciones en torno al quehacer actual y al camino que deben recorrer en el futuro para adecuarse a los cambios y a las demandas que les impone el entorno y lograr la mayor eficiencia, eficacia y calidad en los bienes y servicios que se proveen. Desde un punto metodológico, la planeación estratégica consiste en un ejercicio de formulación y establecimiento de objetivos de carácter prioritario, cuya característica principal es el establecimiento de los cursos de acción para alcanzar dichos objetivos. Desde esta perspectiva la planeación estratégica es una herramienta clave para la toma de decisiones de las instituciones públicas (Shim, Merrill, Courtney, Power, Ramesh & Carlsson, 2002). A partir de un diagnóstico de la situación actual, la planeación estratégica establece cuales son las acciones que se tomarán para llegar a un “futuro deseado”, el cual puede estar referido al mediano o largo plazo. El uso de la planeación estratégica en el ámbito público se concibe como una herramienta imprescindible para la identificación de prioridades y asignación de recursos en un contexto de cambios y altas exigencias por avanzar hacia una gestión comprometida con resultados (Bryson, 2010).

La idea fundamental que sustenta al concepto de planeación estratégica es la incorporación de los resultados de evaluaciones formales del entorno de la organización

como paso previo a la formulación de las estrategias y los planes de acción y esto se vuelve más necesario cuando mayores son los cambios que suceden fuera de la organización. La planeación estratégica es una de las mayores innovaciones en el sector público, que promete los beneficios de una técnica de dirección orientada al futuro, racional y altamente estructurada adoptada de las empresas privadas mejor dirigidas. La planeación estratégica es una innovación en el sector público, tanto en términos de liderazgo como de dirección, que cuenta con grandes posibilidades de seguir siendo utilizada porque acepta y se fundamenta en la naturaleza política de la toma de decisiones (Yáñez,2008 y Armijo,2011).

La planeación estratégica en el ámbito público, es el instrumento para lograr el mejor desarrollo de los asentamientos humanos en un lugar y un momento determinado. Actúa para descubrir y potenciar al máximo, las posibilidades de desarrollo que en ellos existen. Toma en consideración toda la complejidad del entorno político, social y económico, determina la mejor vocación urbana del sitio y las demandas de infraestructura así como de equipamiento. Respeta y aprovecha el medioambiente natural así como la circunstancia histórica y saca beneficio del momento dentro del entorno local con una prospectiva a corto, mediano y largo plazo para el logro de los objetivos. Considera el entorno mundial y sus tendencias dentro del mercado, y el proceso de globalización (Barton, 2009).

La planeación estratégica utiliza la creatividad para modificar las tendencias, cuando esto es posible y necesario, en lugar de aceptarlas y limitarse a actuar en consecuencia. Mediante la planeación estratégica se puede lograr la mejor distribución de la

población en el territorio nacional de la República mexicana, actualmente afectado por la dicotomía concentración-dispersión (March, Carvajal & Vidal, 2009).

#### **4.2. Planeación estratégica del medio ambiente**

En junio del año 1972, se llevó a cabo la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano” para analizar precisamente la crisis ambiental a la que se había llegado en ese momento en el Mundo.

En julio del año 1976 se realizó la “Conferencia de la ONU sobre los Asentamientos Humanos”, cuestionándose el desequilibrio en los ecosistemas naturales causado por el desarrollo de las “megaciudades”, recomendándose entre muchas otras cosas, ubicar los nuevos asentamientos en donde el agua y el medio ambiente fueran propicios para lograr un equilibrio y construir un hábitat con calidad de vida. En ésta también se convocaba a los gobiernos de los países para utilizar la planificación urbana y regional como instrumento de previsión, así mismo, se hacía el primer llamado formal a detener el proceso de contaminación ambiental.

En México, en 1978 se realizó el XIII Congreso Mundial de la Unión Internacional de Arquitectos con el tema: “Arquitectura y Desarrollo Nacional”, convocando a los arquitectos del mundo y a sus gobiernos, a revisar cómo y en qué medida, la arquitectura y la planeación urbana estaban contribuyendo o no, para mejorar la calidad de vida y lograr un desarrollo verdaderamente equilibrado y armónico en los diferentes países del mundo.

En 1984 se reunió por primera vez la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development), atendiendo a un llamado urgente de la Asamblea General de la ONU, con el objeto de establecer una agenda global para el cambio, convencidos en la idea de que todavía era posible para la humanidad el poder construir un futuro más justo, más próspero y más seguro.

En 1987, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo publicó el documento “Nuestro Futuro Común” (Our Common Future). Este documento advertía a la humanidad del gran riesgo que se correría si no se reorientaba el desarrollo conseguido hasta ese momento, destruyendo las mejores condiciones de vida. Por lo tanto habría que buscar nuevos modelos de desarrollo para lograr un desarrollo protector del progreso humano integral hacia el futuro con beneficio para todos, en suma: lograr un “desarrollo sostenible” porque eran verdaderamente alarmantes los resultados obtenidos por muchos países a fines del siglo XX. En este documento, también se convocaba a las partes a detener la inercia económica cultural que había llevado a la subestimación del respeto al medioambiente y en muchos casos a su deterioro irreversible.

Los múltiples llamados sirvieron en cierta medida, para que se logaran cambios importantes, sobre todo en algunos países desarrollados, pero estos fueron insuficientes y se quedaron cortas las predicciones catastróficas, porque todos los trastornos causados por este desarrollo, ahora se verían magnificados ante el hecho de que ya se estaba dando un nuevo cambio climático.

En 1992 se estableció la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), firmada por las partes; los países miembros de la ONU. Posteriormente en 1997 se convocó a las partes y se firmó el protocolo de Kyoto en el que se establecía el compromiso de bajar, en un 5.2% para el periodo comprendido entre 2008 y 2012, la concentración de GEI en la atmosfera registrada en 1990, de al menos tres gases: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en donde solo algunos países se comprometían a disminuir la emisión de GEI y otros lo dejaban pendiente. Actualmente y ante lo evidente, lo han firmado y ratificado todos los países. Con excepción de algunos de los que más GEI emiten a la atmosfera; como son los EU. Que contribuyen con una tercera parte del total y la Unión Europea quienes emiten casi una cuarta parte. Ellos aunque ya lo han ratificado no han adoptado un compromiso concreto para la reducción de sus emisiones y hasta la fecha solo se comprometen a declarar la cantidad que están produciendo y a tratar de disminuirlas, sin comprometerse a objetivos concretos en el corto mediano y largo plazo.

Hoy día, debemos partir de una premisa: El cambio climático es una realidad irreversible en el corto y mediano plazo, una realidad con la que tenderemos que vivir de aquí en adelante sabiendo que sus consecuencias negativas en el corto plazo, hágase lo que se haga, lejos de aminorar se harán más críticas y por lo tanto las condiciones del medio ambiente empeoraran perjudicando a la humanidad. Las inundaciones que hemos visto serán mayores y también de mayor intensidad y más frecuentes serán los terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas, los huracanes, tifones y tornados así como las tormentas y la caída de granizos fuera de lo normal, así mismo las tormentas de polvo y arena y demás varios fenómenos meteorológicos (Stern, 2007).

Por un lado tenemos el aumento del calentamiento global, ocasionado por la concentración excesiva de los GEI y por el otro la destrucción de la capa de ozono ocasionada a su vez por el deterioro ambiental y la enorme contaminación de mares y tierra, desprotegiéndonos de las radiaciones ultravioleta, razón por la que ahora el sol es más peligroso para los seres vivos. Todo esto fue causado por el inicio del cambio climático natural y agravado ahora principalmente por acciones antropógenicas (Shivam, Srinivas & Nanjundiah, 2006; IPCC, 2007; Stern, 2007; Stern, 2010 y UNEP, 2011). Es por ello que, sólo de los seres humanos y particularmente de los gobiernos y de sus estados depende que estas acciones se reviertan en el mediano o largo plazo mediante el compromiso serio y estricto para cambiar las condiciones actuales y los modelos de desarrollo.

La ONU en su Convención Marco para el Cambio Climático ha realizado 16 Conferencias entre las Partes, la penúltima fue en 2009 en Copenhague y la última Conferencia entre las Partes, de donde le viene el nombre de “COP16”, fue realizado en Cancún, México en noviembre y diciembre de 2011.

Diversas organizaciones gubernamentales, no gubernamentales, grupos del sector civil y de la academia han elaborado múltiples ejercicios de planeación y estrategias orientadas a la adaptación y mitigación ante el cambio climático (OMM, 2007; PNUMA & ORPALC, 2005; Presidencia de la República Mexicana, 2006; Presidencia de la República Mexicana & CICC, 2009 y Greanpeace, México, 2010), que sin duda han sido una importante contribución y que han permitido inversiones mejor orientadas, así como

información fundamental para conocer más a fondo este fenómeno, pero la planeación en este ámbito debe tratarse a nivel mundial, nacional y regional, ya que el impacto es diferente y depende mucho de la situación geográfica de la zona.

### **4.3. Planeación estratégica del cambio climático a nivel mundial**

Por el alcance de sus implicaciones económicas, políticas y sociales, el cambio climático es hoy tema vinculado, de forma ineludible, a la agenda internacional y objeto de preocupación para las instancias de más alto nivel de los gobiernos.

Los desafíos y las oportunidades del cambio climático en el futuro, a largo, mediano y corto plazo, están reconocidos como elementos fundamentales en la planeación estratégica para el siglo XXI y la forma de abarcarlos y planificar es a través de la mitigación y la adaptación. Vincular la mitigación y adaptación al cambio climático como parte del proceso cotidiano y estratégico del desarrollo urbano-regional es el desafío actual, y debe ser integrada como un aspecto central, no como algo adicional o complementario. (Bates, Kundzewicz, Wu & Palutikof ,2008).

La difusión del Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (PICC) y de los resultados de investigaciones científicas recientes han reforzado en todo el mundo el sentido de urgencia con el que se debe incorporar en la estrategia de cualquier organización el tema.

### **4.3.1. Plan estratégico de la OMM**

En el Decimoquinto Congreso Meteorológico Mundial celebrado en Ginebra en mayo de 2007 se aprobó el Plan Estratégico de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que, a partir de enero de 2008, sustituiría al Sexto plan a largo plazo (2004-2011) de la Organización.

El plan estratégico es el resultado de un proceso de planificación impulsado por las necesidades y las prioridades señaladas por los Miembros de la OMM en el cual se expresa que aproximadamente una tercera parte del producto nacional bruto (PNB) de un país desarrollado es sensible a las condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas y este porcentaje es aún mayor cuando se trata de países con economías en desarrollo. La utilización de los datos meteorológicos, climáticos e hidrológicos y de los servicios conexos ayuda a mejorar la seguridad y el bienestar de las poblaciones, a reducir la pobreza, a aumentar la prosperidad y a proteger el medio ambiente para las generaciones futuras (OMM, 2007).

Las actividades de la OMM son un elemento esencial para alcanzar los objetivos de las estrategias adoptadas por la comunidad internacional, tales como los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas, el plan de aplicación de Johannesburgo de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 y de otros convenios pertinentes relacionados con el medio ambiente y con el clima.

La vulnerabilidad de las poblaciones de todo el mundo se reducirá gracias al uso de los datos y servicios meteorológicos, climáticos e hidrológicos en el marco de las políticas sobre el desarrollo sostenible y de las estrategias mundiales de asociaciones para el desarrollo, especialmente para los países menos adelantados y en el contexto del Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres.

La finalidad general del plan estratégico de la OMM es definir objetivos y estrategias a largo plazo y de alto nivel para que la OMM pueda elaborar y coordinar eficazmente planes y programas que permitan a sus 188 Miembros llevar a cabo, especialmente a través de sus Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN), sus principales actividades, a saber: la supervisión, evaluación y predicción del tiempo, de la calidad del aire, del clima, de las condiciones oceánicas, del ciclo mundial del agua y de los peligros hidrometeorológicos. Este plan proporciona orientaciones y directrices para que se puedan adoptar enfoques eficaces y coordinados en toda la Organización.

La aplicación eficaz del plan estratégico de la OMM contribuirá a que se obtengan para la sociedad los siguientes resultados finales en el plano social:

- Mejora de la protección de la vida, los medios de sustento y los bienes.
- Mejora de la salud y el bienestar de los ciudadanos.
- Aumento de la seguridad en tierra, mar y aire.

- Crecimiento económico sostenido, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo.
- Protección de los recursos naturales y mejora de la calidad del medio ambiente.
- Atenuación de los efectos de los desastres naturales.

En este plan estratégico, se considera que las repercusiones sobre el medio ambiente son enormes y continúan aumentando y que los desastres naturales no solo se traducen en pérdidas inmediatas de vidas humanas sino también en repercusiones económicas a largo plazo para las sociedades. La meteorología, hidrología y el clima de todos los días afectan prácticamente a todas las facetas de la existencia humana. Cuando la información y los servicios medioambientales se comprenden y se interrelacionan, pasan a formar parte de todos los aspectos de las economías nacionales, regionales y mundiales.

En este plan estratégico se menciona que muchos desastres naturales son consecuencia de la mala planificación y de la falta de una metodología del desarrollo, lo que aumenta la vulnerabilidad a las condiciones meteorológicas, climáticas e hídricas extremas.

En este plan estratégico también se considera que la complejidad del sistema terrestre y las interconexiones entre los procesos relacionados con el tiempo, el agua, el clima y el medio ambiente conexos cada vez ponen más en entredicho la capacidad científica y financiera de la OMM de mejorar la calidad y la precisión de la información y los productos. Ningún gobierno ni institución dispone de los recursos necesarios para hacer

frente a todos esos problemas por sí solo. Por consiguiente, el éxito de la Organización depende de su habilidad para establecer asociaciones de forma eficaz entre los interesados internos y las organizaciones externas con el fin de satisfacer sus objetivos.

Como parte importante dentro de sus conclusiones se menciona que si bien las sociedades se benefician de los continuos progresos realizados en materia de ciencia y tecnología, todavía no se han obtenido todos los beneficios posibles de los productos y servicios en materia de predicción del tiempo, el clima y el agua, y reconoce que, en la actualidad, las personas y las economías son más vulnerables y que es el primer paso para tomar decisiones que utilicen la información relativa al medio ambiente con eficacia.

En el plan estratégico de la OMM se destaca la importancia de la prestación de servicios para mejorar la interacción entre proveedores y usuarios de productos y servicios relacionados con el tiempo, el clima y el agua. En el plan también se reconoce que las necesidades cambiantes de la sociedad requieren nuevas herramientas y técnicas.

#### **4.3.2. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)**

El principal organismo de las Naciones Unidas encargado de la cuestión del medio ambiente es el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el cual se encarga de:

- Evaluar y determinar el estado del medio ambiente mundial.
- Determinar qué cuestiones del medio ambiente requieren una cooperación internacional.

- Proporcionar asistencia para formular una legislación ambiental internacional.
- Integrar cuestiones ambientales en las políticas y programas sociales y económicos del sistema de las Naciones Unidas.

La intención del PNUMA es resolver los problemas que los países no pueden enfrentar solos. Además sirve como un foro para crear consenso y llegar a acuerdos internacionales. Por otro lado busca la participación de las empresas y la industria, la comunidad científica y académica, las organizaciones no gubernamentales y los grupos cívicos, entre otros.

El PNUMA también busca crear conciencia mundial acerca de los problemas del medio ambiente, a través de investigaciones y síntesis de información regional y mundial relativa al tema. Esta información ha llegado incluso a conducir a negociaciones internacionales conducentes a elaborar varias convenciones sobre el medio ambiente.

#### **4.3.3. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)**

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) constituyeron en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). La misión de este Grupo es evaluar en términos exhaustivos, objetivos, abiertos y transparentes la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático en todo el mundo. Las evaluaciones están basadas en información contenida en publicaciones revisadas por homólogos y, cuando existe documentación apropiada, en publicaciones de la industria y

prácticas tradicionales. Se apoyan en la labor de centenares de expertos de todas las regiones del mundo.

Los informes del IPCC tratan de dar a conocer de manera equilibrada los diferentes puntos de vista al respecto y aspiran a ser útiles, no a marcar pautas. Desde su creación, el IPCC ha producido una serie de publicaciones que son ya obras de referencia en la materia y que utilizan gran número de responsables de políticas, científicos, otros expertos y estudiantes.

Los principales productos del IPCC consisten en Informes de Evaluación, Informes Especiales, Guías Metodológicas y Documentos Técnicos. Cada informe del IPCC va acompañado de un Resumen para responsables de políticas, que se publica en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas. Tales resúmenes reflejan los conocimientos más recientes en la materia, y están redactados de manera comprensible para los no especialistas.

#### **4.3.4. Convenio marco de las naciones unidas para el cambio climático**

El cambio climático puede llegar a representar una de las principales amenazas para el medio ambiente y desarrollo económico del mundo y sus efectos adversos son de preocupación común. Es por ello que más de 150 países del mundo se adhirieron al tratado internacional denominado “Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” (CMNUCC) cuyo objetivo es lograr la estabilización de las concentraciones de los GEI en la atmósfera, en un nivel tal que no se generen interferencias antropogénicas

peligrosas en el sistema climático. Este nivel deberá lograrse en un periodo que sea suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten de manera natural al cambio climático y asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada, mientras el desarrollo económico continúa su avance de manera sustentable.

Los países que se encuentran adheridos CMNUCC se denominan Partes. Las Partes en la Convención acordaron algunos compromisos para buscar solución al cambio climático.

Todas las Partes deben preparar y presentar periódicamente informes especiales denominados comunicaciones nacionales. Estas comunicaciones nacionales deben contener información sobre las emisiones de GEI de esa Parte y explicar las medidas que se han adoptado y los planes que se ejecutarán para aplicar la Convención.

La Convención obliga a todas las Partes a poner en práctica programas y medidas nacionales para controlar las emisiones de GEI y adaptarse a los efectos del cambio climático.

Las Partes también se comprometen a promover el desarrollo y la utilización de tecnologías que no perjudiquen al clima; a educar y sensibilizar al público acerca del cambio climático y sus efectos; a explotar los bosques y otros ecosistemas de manera sostenible para que puedan eliminarse los GEI de la atmósfera y a cooperar con las demás Partes en estas actividades.

Los países industrializados, que se denominan Partes en el anexo I, según la Convención, tienen otros compromisos. Estas Partes, al principio, acordaron emprender políticas y medidas con el objetivo concreto de hacer que para el año 2000 sus emisiones de GEI regresaran a los niveles que tenían en 1990. Las Partes en el anexo I también deben presentar comunicaciones nacionales más frecuentes y preparar por separado informes anuales sobre sus emisiones nacionales de GEI.

Los países desarrollados más ricos (denominados Partes en el anexo II) deben promover y facilitar también la transferencia de tecnologías que no perjudiquen al clima a los países en desarrollo y a los países con economías en transición. Deben aportar asimismo recursos financieros para ayudar a los países en desarrollo a cumplir sus compromisos por conducto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, que actúa como mecanismo financiero de la Convención y por medio de mecanismos bilaterales y otros mecanismos multilaterales.

#### **4.3.5. Protocolo de Kyoto**

El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático encuentra soporte en el Protocolo de Kioto mediante el cual se controlan las emisiones de GEI: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFCS), perfluorocarbonos (PFCS) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). En el Protocolo de Kioto se establece el compromiso de 39 países desarrollados y en proceso de transición a economía de mercado, de reducir sus emisiones de GEI en no menos del 5% con respecto a sus emisiones de 1990.

En el Protocolo de Kyoto se establecen los compromisos contraídos por las Partes dentro del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, tales compromisos son:

- Estabilización de los GEI — El Protocolo de Kyoto de 1997 comparte con la Convención el objetivo supremo de estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida la interferencia peligrosa con el régimen climático. En la consecución de este objetivo, el Protocolo de Kyoto se basa y hace hincapié en muchos de los compromisos ya contraídos en virtud de la Convención.

Sólo las Partes en la Convención pueden ser Partes en el Protocolo.

- Metas obligatorias para los países desarrollados — Aunque todas las Partes han acordado seguir promoviendo el cumplimiento de sus actuales compromisos contraídos en virtud de la Convención, sólo las Partes en el anexo I contrajeron nuevos compromisos en virtud del Protocolo. Estas Partes han acordado concretamente cumplir metas obligatorias en relación con las emisiones en el período 2008 – 2012.
- Nuevos instrumentos para reducir las emisiones — Para ayudar a los países industrializados a cumplir sus metas obligatorias y promover el desarrollo sostenible en los países en desarrollo, el Protocolo de Kyoto estableció tres mecanismos innovadores: el mecanismo para un desarrollo limpio o MDL, la aplicación conjunta y el comercio de los derechos de emisión.

- Vigilancia del cumplimiento — Para apoyar la aplicación de estos mecanismos y promover el cumplimiento por las Partes en el anexo I de sus metas de emisión, en el Protocolo de Kyoto se reafirmaron los procedimientos de presentación de informes y examen de la Convención y se creó un sistema electrónico de bases de datos y se pidió que se crearan registros nacionales para dar seguimiento a las transacciones previstas en el mecanismo de Kyoto. También se estableció un comité de cumplimiento que tiene autoridad para determinar las consecuencias y aplicar medidas en casos de incumplimiento.

La entrada en vigor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y del Protocolo de Kioto no ha conseguido, hasta ahora, modificar sustancialmente las trayectorias de las emisiones y, por consiguiente, de las concentraciones resultantes. Las trayectorias tendenciales apuntan hacia una situación climática fuera de control, con consecuencias muy graves para el futuro de los ecosistemas y, la supervivencia de la propia especie humana (PNUMA & OMM, 1997; Stern, 2010 y PNUMA, Red Mercosur & CENIT, 2011).

#### **4.4. Planeación estratégica para el cambio climático en México**

El actual Grupo de Trabajo para el Programa Especial de Cambio Climático (GT-PECC) antes fue el Grupo de Trabajo para la Estrategia Nacional de Cambio Climático (GT-ENACC); coordinado por la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental de la Semarnat, reúne la información para los Reportes Públicos Anuales de Acción Climática de

la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). Este grupo también coordinó la formulación del documento "Hacia una Estrategia Nacional de Acción Climática" (HENAC), publicado a fines de noviembre 2006, así como de la "Estrategia Nacional de Cambio Climático" (ENACC) y finalmente la publicación del Programa Especial de Cambio Climático (PECC).

La ENACC, presentada en mayo del 2007, permitió identificar oportunidades de reducción de emisiones de GEI y de desarrollo de proyectos de mitigación; así como reconocer la vulnerabilidad de los respectivos sectores y áreas de competencia e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación.

Como resultados destacados, la ENACC presentó:

- Las oportunidades de mitigación de los sectores de Generación y Uso de Energía, y Vegetación y Uso de suelo.
- Una visión general sobre las oportunidades económicas de la valoración progresiva del carbono en la economía nacional.
- Los elementos para una política de adaptación al cambio climático con 10 líneas de acción.
- Las líneas prioritarias de investigación y generación de conocimiento para la mitigación a nivel nacional.

La ENACC refleja el compromiso del Ejecutivo Federal en relación con la mitigación del cambio climático y la adaptación a los efectos adversos del mismo,

sobre la base del reconocimiento del problema como uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad. La ENACC identifica medidas, precisa posibilidades y rangos de reducción de emisiones, propone estudios necesarios para definir metas más precisas de mitigación y esboza las necesidades del país para avanzar en la construcción de capacidades de adaptación. Aunque la ENACC se centra en la esfera de competencia de la Administración Pública Federal, contribuye con ello a un proceso nacional, amplio e incluyente, basado en la construcción de consensos gubernamentales, corporativos y sociales para:

- Identificar oportunidades de reducción de emisiones y desarrollar proyectos de mitigación;
- Reconocer la vulnerabilidad de los respectivos sectores y áreas de competencia e iniciar proyectos para el desarrollo de capacidades nacionales y locales de respuesta y adaptación;
- Proponer líneas de acción, políticas y estrategias, que sirvan de base para la elaboración de un Programa Especial de Cambio Climático que se inscribiría en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012.

A partir de la publicación de la ENACC, las distintas dependencias que participan en la CICC iniciaron los trabajos para la elaboración del Programa Especial de Cambio Climático (PECC). El PECC toma como base los esfuerzos anteriores de planeación, concreta y desarrolla las orientaciones contenidas en la HENAC, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2017 y la ENACC.

El PECC es resultado de un prolongado esfuerzo de concertación y coordinación de actividades en las que se construyeron acuerdos y avances hacia el reconocimiento de la transversalidad de políticas públicas para el desarrollo sustentable. Destaca la consulta pública a la que fue sometido el PECC en junio de 2008 ante los diversos grupos sociales, coordinada por el Consejo Consultivo de Cambio Climático (C4) y los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable (CCDS). El viernes 28 de agosto de 2008 se publica en el Diario Oficial de la Federación el Programa Especial de Cambio Climático, así como su decreto de aprobación.

En su visión a largo plazo, México asume el objetivo indicativo de reducir en un 50% sus emisiones de GEI al 2050, en relación con las emitidas en el año 2000. Con ello se prevé contribuir a un posible escenario de estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera, a un nivel no superior a 450 ppm de CO<sub>2</sub>e (bióxido de carbono equivalente). Este nivel es compatible con un límite del incremento de la temperatura terrestre superficial promedio entre 2° C y 3° C y un promedio global de emisiones per cápita de 2.8 toneladas de CO<sub>2</sub>e en 2050.

El Gobierno de México a través del PECC 2009-2012, reconoce que el cambio climático constituye el principal desafío ambiental global de este siglo, y que representa, a mediano y largo plazos, una de las mayores amenazas para el proceso de desarrollo y el bienestar humano. Además de producir un desplazamiento de regiones climáticas, intensificación de sequías, inundaciones, huracanes intensos, derretimiento de glaciares,

aumento en el nivel del mar, entre otros efectos, incide en la pérdida de biodiversidad, así como en el deterioro de los recursos hídricos y de los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas.

Enfrentar el cambio climático implica desarrollar de inmediato actividades de mitigación, o reducción de emisiones de GEI y de adaptación o reducción de la vulnerabilidad y de los riesgos para la vida, para el orden natural y el desarrollo.

Para integrar el PECC, se consideraron cuatro componentes fundamentales para el desarrollo de una política integral para enfrentar el cambio climático: Visión de Largo Plazo, Mitigación, Adaptación, y Elementos de Política Transversal. Así el PECC se compone de cuatro capítulos y tres anexos:

El Capítulo 1, especifica la visión de largo plazo en la que se sustenta el Programa. En todo el mundo, los sistemas políticos, administrativos y financieros se encuentran mal adaptados para enfrentar un proceso de las dimensiones globales y temporales inherentes al cambio climático. Se necesita modificar una serie de prácticas que normalmente atienden cuestiones coyunturales urgentes y diseñar una nueva política sustentada en una visión de largo plazo y de convergencia real de intereses de todos los países del mundo, en torno de los múltiples retos que plantea el cambio climático. Este capítulo aborda el panorama de la mitigación y la adaptación en el largo plazo.

El Capítulo 2, El capítulo contiene 39 objetivos y 86 metas, en este se describen las acciones de mitigación, es decir, de reducción de las emisiones de GEI. Se estructura en

función de las recientes guías desarrolladas por el IPCC para la realización de inventarios nacionales de emisiones, distinguiendo cuatro amplias categorías o secciones:

1. Generación de energía.
2. Uso de energía, agricultura, bosques y otros usos del suelo.
3. Desechos.
4. Sector Privado.

El Capítulo 3, presenta políticas públicas para la adaptación al cambio climático. La estructura de sistemas corresponde al enfoque desarrollado por el Grupo de Trabajo II del IPCC que, ajustado a las especificidades mexicanas, resulta en ocho sistemas, de los cuales siete corresponden a sistemas humanos y naturales, y uno al enfoque de gestión de riesgo. Para el tema de adaptación se plantean 37 objetivos y 142 metas.

El Capítulo 4, diseña y agrupa los elementos fundamentales de las políticas y acciones de carácter transversal en torno al cambio climático, que deben apoyar los esfuerzos en materia de mitigación y adaptación. El capítulo se integra con cinco secciones que abordan la política exterior, el fortalecimiento institucional, la economía del cambio climático, la educación, capacitación, información y comunicación y las actividades de investigación y desarrollo tecnológico. En materia de transversalidad se plantean 29 objetivos y 66 metas.

El Anexo I, incluye una breve síntesis de los fundamentos del cambio climático, específicamente a través de 3 temas: el tema global del cambio climático antropogénico, el régimen internacional, y algunos aspectos del marco institucional de México.

El Anexo II, complementa el listado de objetivos y metas enunciados en los capítulos 2, 3 y 4 con una relación de las estrategias, líneas de acción y entidades responsables de cada una de las metas. También incluye una tipología de las mismas, que permite identificar las áreas donde se concentran los mayores esfuerzos en materia de cambio climático.

El Anexo III, reúne un listado de propuestas de investigación en materia de mitigación y adaptación al cambio climático, que apoyarán la instrumentación eficiente del presente programa.

En respuesta al cambio climático, México es uno de los pocos países que podría conservar la mayor parte de su capital natural, debido a que posee características geográficas relevantes como: ser zona de confluencia de dos reinos florísticos (regiones Neártica y Neotropical) y, a la vez, ser un país montañoso. La combinación de estos factores naturales trae consigo posibilidades de migración y movimiento de especies que pueden desplazarse y mantener su distribución dentro de las zonas climáticas más aptas, de acuerdo con sus umbrales de tolerancia y adaptación. Sin embargo, los diversos ecosistemas nacionales han sufrido transformaciones principalmente por cambios en el uso del suelo. El Cuarto Informe de Evaluación del PICC señala que los ecosistemas serán vulnerables a las variaciones del clima y también a los impactos humanos. El informe también resalta que, bajo el escenario actual del nivel de emisiones de GEI, los ecosistemas tendrán un pico en su capacidad de captura de CO<sub>2</sub> a mediados del presente siglo e irán declinando hasta convertirse en generadores netos de CO<sub>2</sub>.

Aunque las metas de mitigación de largo plazo son todavía objeto de discusión en los foros multilaterales, podría determinarse que, para evitar riesgos irreversibles para la sociedad y para los sistemas ecológicos, será necesario que las emisiones globales de GEI alcancen un máximo en los próximos diez años y se reduzcan a un tercio de su escenario tendencial en el año 2050.

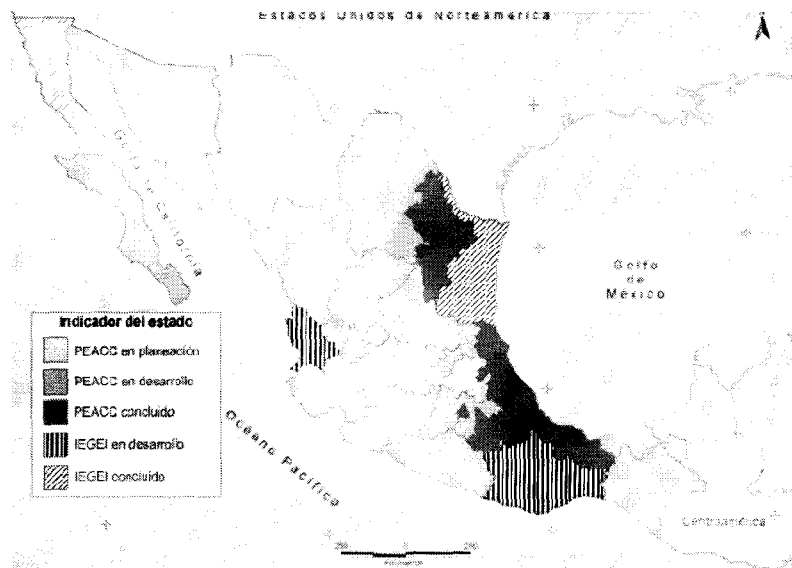
#### **4.5. Planeación estratégica de cambio climático en las entidades federativas**

La implementación paulatina de la estrategia a escala nacional se ha instrumentado, por un lado, mediante la generación de políticas públicas y programas del gobierno federal principalmente a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y las instancias del sector: la Comisión Nacional Forestal (Conafor), el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) y la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (Conabio), pero también con el diseño de estrategias estatales de biodiversidad en procesos impulsados por la propia Conabio y que involucran a los principales actores de la conservación en los estados.

La mayor parte de los ejercicios de planeación estratégica para el cambio climático han estado enfocados a nivel global, y pocos se han concentrado en las regiones estatales y locales. En el caso de México, sobresalen los ejercicios realizados para desarrollar los PEACC en Distrito Federal, Nuevo León, Guanajuato, Hidalgo, Veracruz, Distrito Federal, Tabasco y Chiapas, el resto de entidades federativas se encuentran en etapas aún previas

como son la planeación y el desarrollo de los PEACC o la integración del inventario de GEI, como se puede apreciar en la figura 2.2.fl.

Los PEACC son instrumentos de apoyo para el diseño de políticas públicas sustentables y acciones relacionadas en materia de cambio climático, en el orden de gobierno estatal y municipal, además de ser un elemento importante para la política de cambio climático en México.



**Figura 2.2.fl. Avance PEACC en la República Mexicana**

Los PEACC toman en cuenta las principales características sociales, económicas y ambientales de cada estado; las metas y prioridades de los planes de desarrollo estatales; el inventario estatal de emisiones de GEI; los escenarios de emisiones de GEI y de cambio climático a nivel regional; y en ellos se identifican acciones y medidas para reducir la

vulnerabilidad ante los impactos del cambio climático y las emisiones de GEI de los sistemas naturales y humanos de interés para el estado.

Con la elaboración de los PEACC, se apoya el desarrollo de capacidades y se busca mejorar la percepción pública acerca de la mitigación de emisiones de GEI, de los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el ámbito estatal y municipal.

#### **4.5.1. PEACC Nuevo León**

El estado de Nuevo León publicó el Programa de Acción ante el cambio climático (2010-2015), en junio de 2010, incluye el inventario estatal de emisiones de GEI. Cuenta también con un inventario de emisiones de GEI realizado, dentro del marco de cooperación de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, por el Centro de Estrategias Climáticas (CCS por sus siglas en inglés), con año base 1990 y proyección de emisiones al 2025.

#### **4.5.2. PEACC Guanajuato**

En Noviembre de 2008 se publicó el documento “Hacia una estrategia estatal de cambio climático en Guanajuato”, que presenta aspectos de adaptación y mitigación de emisiones de GEI. El Instituto de Ecología Estatal elaboró el primer inventario estatal de emisiones de GEI con año base 2005, que fue publicado en el 2009. El estado también cuenta desde el 2005 con una Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del Estado de Guanajuato (COCLIMA). Asimismo, en marzo de 2010 publicó la versión preliminar del “Programa estatal de acción ante el cambio climático” y se realizó una consulta pública.

Durante el primer semestre del 2011, en el estado se concluyó el estudio “Diagnóstico climatológico y prospectiva sobre vulnerabilidad al cambio climático del estado de Guanajuato” por lo que se considera que esta Entidad Federativa ha concluido con la etapa de diagnóstico básico para el estado y está en posibilidad de avanzar a otras fases de diseño e implementación en materia de cambio climático a nivel estatal derivado de la aprobación por COCLIMA del PECCG.

El Programa está compuesto de 5 líneas estratégicas de acción:

1. Acciones de mitigación de las emisiones de GEI.
2. Acciones de adaptación al cambio climático como medidas de reducción de la vulnerabilidad en la población.
3. Promoción de la educación y comunicación del cambio climático en la sociedad.
4. Promoción de la investigación y desarrollo tecnológico para la atención del cambio climático en el estado y sus efectos.
5. Financiamiento de los proyectos y acciones derivadas del programa.

El 23 de noviembre de 2011, el Gobierno del Estado de Guanajuato a través de la COCLIMA presenta el Programa Estatal de Cambio Climático de Guanajuato; Sin embargo, el Estado continua trabajando en la materia.

### **4.5.3. PEACC Veracruz**

El Programa Veracruzano de Acción ante el Cambio Climático (PVCC) fue publicado en junio de 2009, incluye resultados de los estudios técnicos y de la consulta pública realizada en el primer trimestre de dicho año.

Como parte de las recomendaciones del PVCC, en febrero de 2008 el Gobierno del Estado de Veracruz elevó el nivel de la Subsecretaría de Protección Civil a Secretaría, y a mediados de ese mismo año se estableció dentro de ella el Centro Estatal de Estudios del Clima.

### **4.5.4. PEACC Hidalgo**

El estado de Hidalgo se encuentra elaborando el inventario de emisiones de GEI que servirá para la identificación de medidas de mitigación y que apoyará a su vez la elaboración de su Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, los trabajos se iniciaron en el 2010 con recursos del Presupuesto de Egresos de la Federación 2010. Los estudios técnicos para desarrollar el PEACC dieron inicio en 2011.

A finales de septiembre de 2011 participaron en el programa de entrenamiento “Long-Range Energy Alternatives Planning” (LEAP) para la estimación de escenarios futuros de emisiones de GEI, impartido por el INE.

A partir de noviembre de 2011 el INE revisa los avances técnicos para integrar la versión final; es importante desatacar que el Estado de Hidalgo ya cuenta con el Balance

Energético Estatal, instrumento clave para desarrollar avances importantes en materia de mitigación de GEI en el Estado.

El 8 de diciembre de 2011 presentaron el documento "Hacia la integración del Programa Estatal de acción ante el Cambio Climático del Estado de Hidalgo" para su consulta pública, en el marco del "Foro Estatal de Cambio Climático" del Hidalgo, celebrado en la Ciudad de Pachuca, Hidalgo.

#### **4.5.5. PEACC Distrito Federal**

El Distrito Federal presentó el Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM) 2008-2012 en junio de 2008. Se encuentra en etapa de instrumentación de acciones identificadas en dicho Programa.

El Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012 (PACCM) es un conjunto articulado de políticas públicas que definen las acciones del Gobierno del Distrito Federal y orientan la participación de la sociedad y las empresas. El PACCM constituye también un instrumento de planeación en el cual se integran las acciones relacionadas con el cambio climático en la ciudad de México.

La conformación del PACCM tiene como punto de partida las políticas y acciones planteadas en el Programa General de Desarrollo del Distrito Federal 2007- 2012; en la Agenda Ambiental de la Ciudad de México, Programa de Medio Ambiente 2007-2012 y representa uno de los compromisos establecidos en Plan Verde de la Ciudad de México,

instrumento de largo alcance presentado por el Jefe de Gobierno del Distrito Federal a la ciudadanía el 30 de agosto de 2007, en el que se definen las estrategias y las acciones para encaminar a la Ciudad de México hacia la sustentabilidad, a través del trabajo y la colaboración multisectorial.

#### **4.5.6. PEACC Tabasco**

El estado de Tabasco inició el desarrollo de su “Estrategia Estatal de Cambio Climático”, la cual incluye la elaboración de su Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático, con financiamiento del Presupuesto de Egresos de la Federación 2010. Cuenta con la colaboración de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, el COLPOS, El Colegio de la Frontera Sur, con la coordinación de la Secretaría de Recursos Naturales y Protección al Ambiente estatal.

En noviembre de 2011 se presentó el "Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Tabasco" y se crea el Comité Interinstitucional de Cambio Climático del Estado de Tabasco.

#### **4.5.7. PEACC Chiapas**

El 6 de diciembre de 2010 el Congreso del estado aprobó la Ley para la adaptación y mitigación ante el cambio climático en el estado de Chiapas y también cuenta con una Comisión Intersecretarial de Cambio Climático.

El día 18 de noviembre de 2011, se llevó a cabo la presentación final del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas (PACCCH), realizado con recursos financieros de la Embajada Británica en México y del Programa de Egresos de la Federación ejercicio fiscal 2010, y la Instalación de la Comisión de Coordinación Intersecretarial de Cambio Climático.

# **CAPITULO 5**

**Inteligencia de negocios aplicada al estudio del  
cambio climático en la zona sur del valle de Puebla**

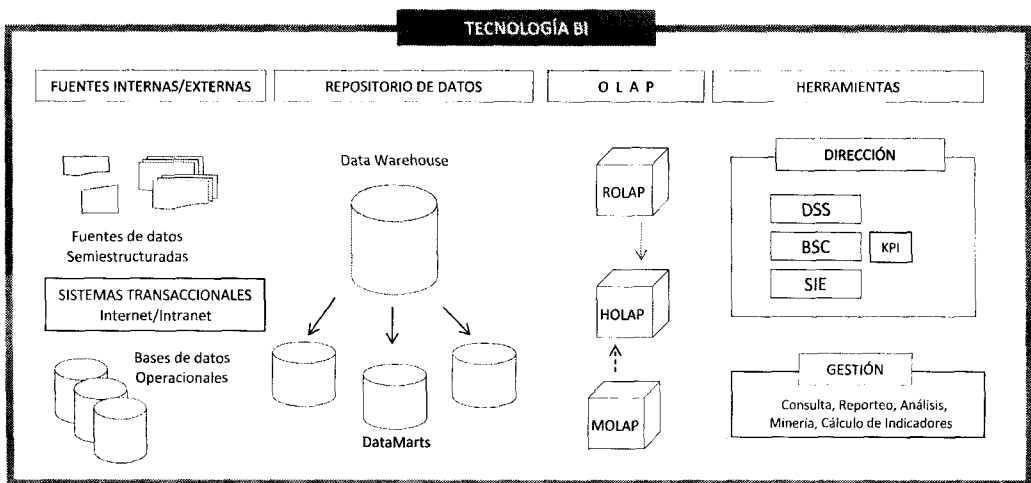
## **5.1. Inteligencia de negocios**

La inteligencia de negocios ha sido aplicada en las organizaciones que buscan obtener beneficios económicos superiores al promedio del sector, como una ventaja competitiva sostenible (Cano, 2007).

El reto en esta investigación es hacer uso de la inteligencia de negocios en el ámbito social en el que no existe un mercado que permita asignar un valor económico a la salud humana y ambiental, en el que es necesario estimar los precios a través de los costos directos de los desastres naturales, de la enfermedad, la pérdida de productividad y la disponibilidad a pagar para reconstruir zonas devastadas y reducir el riesgo de muerte y morbilidad causados por el cambio climático.

Para hacer referencia a inteligencia de negocios se hará uso de la terminología original “Business Intelligence” (BI).

BI es el conjunto de metodologías, aplicaciones y tecnologías que permiten reunir, depurar y transformar datos de los sistemas transaccionales e información “desestructurada”, interna y externa a la organización, en información estructurada, para su explotación directa o para su análisis y conversión en conocimiento. Conocimiento que los integrantes de la organización pueden utilizar para tomar mejores decisiones y crear auténtico valor (Inmon, Bonnie & Fryman, 2008).



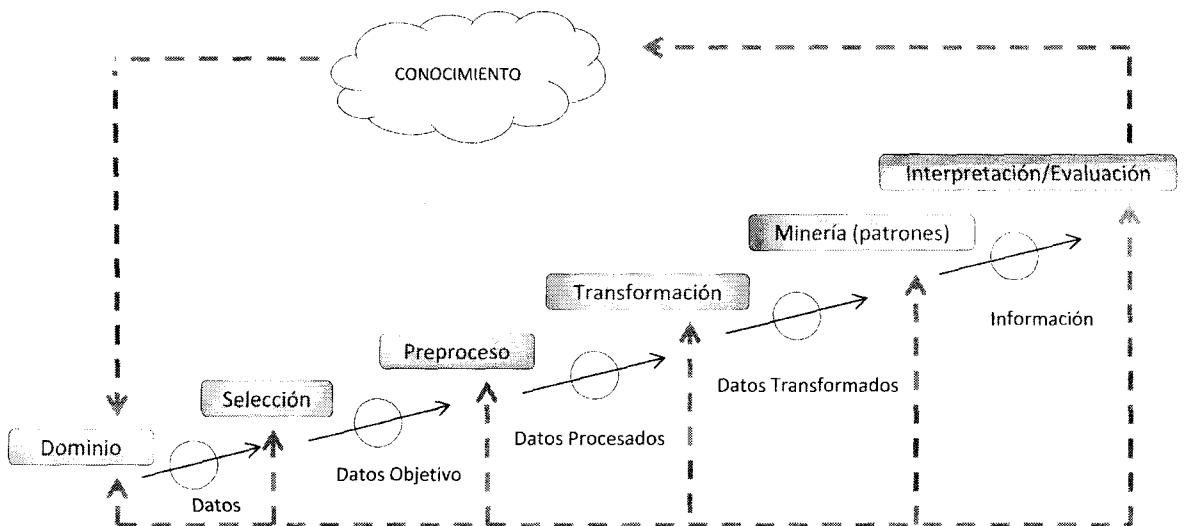
**La Figura 5.1.f1. Tecnología BI**

Los datos que se recopilan de diversas fuentes, se organizan y se almacenan en repositorios que permiten generar estructuras dinámicas que a su vez, permiten, el proceso analítico en línea para generar conocimiento que funciona como insumo para las herramientas de uso táctico y estratégico.

En este contexto, “conocimiento” se define como el proceso de identificar patrones significativos de los datos que sean válidos, novedosos, potencialmente útiles y comprensibles para el personal involucrado en la toma de decisiones y que impactan en la organización (Michalewicz, Schmidt, Michalewicz & Chiriac, 2007). En este proceso se transforman datos de bajo nivel en conocimiento de alto nivel, de forma iterativa e incremental.

El proceso, como se muestra en la Figura 5.1.f2., comprende los siguientes pasos:

1. Comprender el dominio de aplicación.
2. Selección de datos.
3. Preproceso de datos.
4. Transformación de datos.
5. Minería de datos.
6. Interpretación y evaluación de la información.



**La Figura 5.1.f2. Proceso de generación de conocimiento**

Para generar conocimiento, se establece el dominio de aplicación, se seleccionan los datos y se les aplica un preproceso, posteriormente se transforman para aplicar minería de datos, encontrar patrones y finalmente interpretarlos y evaluarlos. Este es un proceso iterativo e incremental, lo que significa que permite conocer cada vez más el fenómeno de estudio.

## **5.2. Dominio de aplicación**

En esta etapa se considera el conocimiento relevante previo y las metas de aplicación para poder situarse en el contexto.

En el contexto de esta investigación, dos organizaciones son los actores principales, la Secretaría de Recursos Naturales y El Instituto Nacional de Ecología, estableciendo como objeto de estudio los factores que determinan la calidad del aire y el cambio climático en Puebla, México.

### **5.2.1. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)**

La SEMARNAT es la dependencia del Gobierno Federal encargada de impulsar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales de México, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable.

Para cumplir con este fin, la SEMARNAT, sus tres Subsecretarías y los diversos Órganos Desconcentrados y Descentralizados que forman parte del Sector Ambiental Federal, trabajan en cuatro aspectos prioritarios:

- La conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y su biodiversidad.
- La prevención y control de la contaminación.
- La gestión integral de los recursos hídricos.
- El combate al cambio climático.

Esta investigación se centra en la prevención y control de la contaminación del aire y el combate al cambio climático por la relación intrínseca que existe en ambos.

#### **5.2.1.1. SEMARNAT y la calidad del aire**

Para lograr la salud de las personas y los ecosistemas es necesario prevenir, reducir y controlar la generación de residuos y las emisiones contaminantes que afectan los suelos, el agua y el aire.

Por ello, la SEMARNAT desarrolla actividades como la implementación de los Programas de Gestión de Calidad del Aire, la instrumentación del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y el impulso al establecimiento de estrategias estatales y municipal de gestión de residuos, el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, la remediación de sitios contaminados y el manejo integral y seguro de las sustancias químicas y materiales peligrosos, además de vigilar el estricto cumplimiento de la legislación ambiental mediante la realización de acciones de inspección, vigilancia y auditoría ambiental.

#### **5.2.1.2. SEMARNAT y el cambio climático**

El cambio climático representa la mayor amenaza para la supervivencia de la humanidad y para el desarrollo de las naciones porque, además de poner en riesgo a la población por sus efectos adversos, que incluyen principalmente la variabilidad y los extremos del clima, incide directamente en la pérdida de la biodiversidad y la capacidad de los ecosistemas de ofrecer bienes y servicios ambientales.

La SEMARNAT tiene a su cargo la conducción de las políticas nacionales sobre cambio climático y desarrolla de forma conjunta con las dependencias del Gobierno Federal, acciones que permitan la mitigación y adaptación a los efectos de este fenómeno.

México, hoy cuenta con un Programa Especial de Cambio Climático (PECC) que se desprende de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC) presentada en 2007; el PECC, basa sus acciones en el fomento al desarrollo de iniciativas de la sociedad y de las políticas y programas para restaurar la integridad de los sistemas económicos y ecológicos, reorientando el desarrollo hacia la sustentabilidad.

Para lograr la mitigación de las causas que generan el cambio climático, la SEMARNAT y las dependencias del Gobierno Federal fomentan una profunda transformación de las formas de producción y consumo, de la utilización de energía y del manejo de recursos naturales, así como de las formas de ocupación y utilización del territorio.

En cuanto a la adaptación, lo que se busca en primer lugar es conocer con precisión la vulnerabilidad del país y valorar económicamente las medidas prioritarias; en segundo lugar se requiere fortalecer las capacidades estratégicas de adaptación; y en tercer lugar, es necesario consolidar las capacidades construidas.

### **5.2.1.3. Misión de la SEMARNAT**

Incorporar en los diferentes ámbitos de la sociedad y de la función pública, criterios e instrumentos que aseguren la óptima protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales de México, conformando así una política ambiental integral e incluyente que permita alcanzar el desarrollo sustentable.

### **5.2.1.4. Visión de la SEMARNAT**

Un país en el que todos y todas abriguen una profunda y sincera preocupación por proteger y conservar el medio ambiente y utilicen sustentablemente los recursos naturales, conciliando desarrollo económico, convivencia armónica con la naturaleza y diversidad cultural.

### **5.2.1.5. Objetivos estratégicos de la SEMARNAT**

El Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PSMARN) 2007–2012 establece el conjunto de objetivos sectoriales, estratégicos y metas mediante los cuales el sector atenderá los objetivos y estrategias que define el Plan Nacional de Desarrollo en materia de Sustentabilidad ambiental.

Los objetivos sectoriales del PSMARN 2007 -2012 considerados para esta investigación:

Objetivo sectorial 4. Coordinar la instrumentación de la estrategia nacional de cambio climático para avanzar en las medidas de adaptación y de mitigación de emisiones.

Objetivo sectorial 8. Generar la información científico-técnica que permita el avance del conocimiento sobre los aspectos ambientales prioritarios para apoyar la toma de decisiones del Estado mexicano, y consolidar políticas públicas en materia de educación ambiental para la sustentabilidad, tanto en el plano nacional como local, para facilitar una participación pública responsable y enterada.

### **5.2.2. Instituto Nacional de Ecología (INE)**

El INE es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, creado en junio de 2001 para promover y realizar investigaciones sobre problemas ambientales con el fin de proporcionar datos, ideas, propuestas e insumos técnicos para la toma de decisiones como apoyo a la gestión y la administración ambiental y de los recursos naturales.

#### **5.2.2.1. INE y calidad del aire**

El aire se contamina principalmente a consecuencia de una gran variedad de actividades que desarrollamos de manera cotidiana; tanto en el nivel individual (en el uso del automóvil, fumar, la quema de basura o la utilización de servicios, etc.), como en el nivel institucional o empresarial (por ejemplo, en la quema de combustible en la industria o el uso de solventes, entre otras).

El resultado de estas actividades es la emisión de gases o partículas contaminantes al aire que pueden afectar nuestra salud y a nuestros ecosistemas.

El INE tiene como propósito, investigar estas fuentes de contaminación y sus impactos para poner en práctica nuevas formas de reducir la contaminación del aire al nivel local y regional con el firme compromiso de proteger el medio ambiente y la salud humana.

El INE a través de su infraestructura, es la encargada de sustentar políticas y programas en materia de calidad del aire mediante el desarrollo de estudios e investigaciones sobre la contaminación atmosférica y sus impactos a nivel local y regional, en coordinación con instancias, autoridades, centros de investigación y universidades, para el mejoramiento de la calidad del aire en México, basando sus actividades en las siguientes líneas de investigación:

- Transporte y combustibles
- Cobeneficios de medidas de control
- Inventario Nacional de Emisiones 1999
- Calidad del aire intramuros
- Emisiones por la generación de electricidad
- Otros Estudios

#### **5.2.2.2. INE y cambio climático**

El INE promueve el uso sustentable de los recursos naturales, al fortalecer la investigación científica de las alternativas de mitigación de emisiones de GEI, derivadas del uso, producción y consumo de energéticos convencionales y de la captura de carbono en el sector forestal, así como al coordinar estudios sobre la evaluación de la vulnerabilidad del

país al cambio climático y sobre las opciones de adaptación al mismo; además de los beneficios compartidos con la aplicación de medidas y estrategias para reducir simultáneamente la emisión de gases de contaminantes y de GEI a la atmósfera, en las zonas metropolitanas.

De manera general, el INE es el encargado de realizar las investigaciones sobre el cambio climático en México, tanto para mitigarlo como para la adaptación del mismo, con el fin de asegurar el cumplimiento de compromisos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 y en los Programas Sectoriales e Institucionales 2001-2006 y con los adquiridos ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, como Parte No Anexo I de la Convención.

#### **5.2.2.3. Misión del INE**

Generar, integrar y difundir conocimiento e información a través de investigación científica aplicada y el fortalecimiento de capacidades, para apoyar la formulación de política ambiental y la toma de decisiones que promuevan el desarrollo sustentable.

#### **5.2.2.4. Visión del INE**

Ser un Instituto que impulsa y guía la agenda de investigación ambiental aplicada en México y aporta significativamente a ésta, en respuesta a las necesidades emanadas de la política sectorial del medio ambiente y contribuyendo efectivamente al desarrollo sustentable del país.

### **5.2.2.5. Objetivos estratégicos del INE**

1. Actualizar de manera periódica el inventario nacional de emisiones de GEI, por fuentes y sumideros.
2. Elaborar Comunicaciones Nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
3. Realizar estudios metodológicos para la mitigación de emisiones de GEI en los sectores energético y forestal; análisis de la variabilidad climática, y el cambio climático.
4. Efectuar estudios metodológicos para la evaluación de la vulnerabilidad y de las opciones de adaptación al cambio climático.
5. Desarrollar escenarios de emisiones futuras.
6. Efectuar estudios sobre cobeneficios al reducir la quema de combustibles fósiles en las ciudades y promover el desarrollo de tecnologías más limpias.

### **5.2.3. Indicadores de calidad de aire que consideran SEMARNAT e INE**

Un indicador de calidad del aire es una representación numérica que sintetiza información de un período de tiempo. Los indicadores de calidad del aire son formas directas o indirectas de determinar la situación actual y la tendencia en la capacidad del ambiente para sustentar la salud ecológica y humana (OSE, 2007).

A fines de 1977 la Dirección General de Saneamiento Atmosférico de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, desarrolló el Índice Mexicano de la Calidad del Aire "IMEXCA", con la finalidad de informar al público de manera precisa y oportuna.

El IMEXCA se comenzó a publicar el 6 de diciembre de 1977, su estructura técnica general se basó en el "Pollutant Standard Index" (PSI) utilizado en los Estados Unidos, es decir, funciones lineales segmentadas donde los puntos de quiebre correspondían a las normas primarias de calidad del aire de los Estados Unidos, debido a que en México no existían normas oficiales de calidad del aire, ni criterios de episodios, ni niveles de daño significativo.

En 1982 se diseñó el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire "IMECA", cuya metodología transforma a una escala adimensional las concentraciones de los contaminantes criterio. A partir de enero de 1986 el IMECA se empezó a difundir a la población a través de diversos medios.

A partir de lo anterior se establece la siguiente escala:

Color		Amarillo	Naranja	Rojo	Violeta
Índice en IMECA	0	51-100	101-150	151-200	201-300
Calidad del aire	Buena	Regular	Mala	Muy Mala	Extremadamente Mala

En noviembre del año 2006 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006, que establece los requisitos para elaborar el IMECA de los contaminantes criterio, ozono ( $O_3$ ), partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ), partículas menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ) dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) y monóxido de carbono (CO). Esta Norma Ambiental incluye los algoritmos para el cálculo del IMECA, estos cálculos se muestran en la Tabla 5.2.3.T2.

Para garantizar la calidad en el procesamiento de la información que genera una estación o sitio de monitoreo, es necesario considerar que todo sistema de información es susceptible a la pérdida de registros, lo que deberá ser tomado en cuenta al presentar un parámetro o indicador. Por lo anterior, en términos generales se considera que la información de una estación de monitoreo será representativa para caracterizar cualquier fenómeno si cuenta al menos con tres cuartas partes de datos al año.

INTERVALOS (IMECA)	CONCENTRACIONES	ECUACIONES
<b>Partículas menores a 10 micrómetros (PM10)</b>		
<b>PM10</b>		
IMECA	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ecuaciones
0-50	0-60	
51-100	61-120	$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 5/6$
101-150	121-220	$I[\text{PM}_{10}] = 40 + C[\text{PM}_{10}] * 0.5$
151-200	221-320	
>200	>320	$I[\text{PM}_{10}] = C[\text{PM}_{10}] * 5/8$
<b>Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5)</b>		
<b>PM2.5</b>		
IMECA	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ecuaciones
0-50	0-15.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 50/15.4$
51-100	15.5-40.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = 20.5 + C[\text{PM}_{2.5}] * 4/15.4$
101-150	40.5-65.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = 21.1 + C[\text{PM}_{2.5}] * 1/15.4$
151-200	65.5-150.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = 11.1 + C[\text{PM}_{2.5}] * 4/15.4$
>200	>150.4	$I[\text{PM}_{2.5}] = C[\text{PM}_{2.5}] * 20/150.5$
<b>Ozono (O3)</b>		
<b>O3</b>		
IMECA	ppm	Ecuaciones
0-50	0-0.055	
51-100	0.056-0.110	
101-150	0.111-0.165	$I[\text{O}_3] = C[\text{O}_3] * 100/0.11$
151-200	0.166-0.220	
>200	>0.220	
<b>Dióxido de Nitrógeno (NO2)</b>		
<b>NO2</b>		
IMECA	ppm	Ecuaciones
0-50	0-0.105	$I[\text{NO}_2] = C[\text{NO}_2] * 50/0.105$
51-100	0.106-0.210	$I[\text{NO}_2] = 1.058 + C[\text{NO}_2] * 49/0.104$
101-150	0.211-0.315	$I[\text{NO}_2] = 1.587 + C[\text{NO}_2] * 49/0.104$
151-200	0.316-0.420	$I[\text{NO}_2] = 2.115 + C[\text{NO}_2] * 49/0.104$
>200	>0.420	$I[\text{NO}_2] = C[\text{NO}_2] * 20/0.421$
<b>Dióxido de Azufre (SO2)</b>		
<b>SO2</b>		
IMECA	ppm	Ecuaciones
0-50	0-0.065	
51-100	0.066-0.130	
101-150	0.131-0.195	$I[\text{SO}_2] = C[\text{SO}_2] * 100/0.13$
151-200	0.196-0.260	
>200	>0.260	
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>		
<b>CO</b>		
IMECA	ppm	Ecuaciones
0-50	0-5.50	$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 50/5.50$
51-100	5.51-11.00	$I[\text{CO}] = 1.92 + C[\text{CO}] * 49/5.49$
101-150	11.01-16.50	$I[\text{CO}] = 2.44 + C[\text{CO}] * 49/5.49$
151-200	16.51-22.00	$I[\text{CO}] = 2.96 + C[\text{CO}] * 49/5.49$
>200	>22.00	$I[\text{CO}] = C[\text{CO}] * 20/22.01$

**Tabla 5.2.3.T2. Ecuaciones de transformación a IMECAS de los contaminantes criterio**

En esta tabla se presentan los intervalos de IMECAS numéricos y por código de colores, así como las ecuaciones para el cálculo de cada uno de los contaminantes criterio.

#### 5.2.4. Indicadores de cambio climático que consideran SEMARNAT e INE

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) formado conjuntamente por la OMM, el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), ha propuesto un conjunto de índices de cambio climático útiles en la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima (Karl ,1999; Peterson, 2005). Los índices son calculados a partir de las series de datos observados de temperatura y precipitación. Los índices de puntos de observación individuales pueden ser posteriormente agregados en series regionales representativas del área geográfica analizada. Los índices del ETCCDI proveen una base teórica común de modo que pueden ser calculados consistentemente en diferentes regiones del planeta para luego comparar o integrar los resultados de diversas regiones.

Los índices y su descripción determinados, son:

##### 1. FD0. Días con helada (Frost Days)\*.

Sea  $T_{ni}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{ni} < 0^{\circ}C$$

##### 2. SU25. Días de verano (SUMmer days)\*.

Sea  $T_{xi}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{xi} > 25^{\circ}C$$

### 3. ID0. Días con hielo (Icing Days)\*.

Sea  $T_{Xj}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{Xj} < 0^{\circ}\text{C}$$

### 4. TR20. Noches tropicales (TRopical nights)\*.

Sea  $T_{nj}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días cuando:

$$T_{nj} > 20^{\circ}\text{C}$$

### 5. GSL. Estación de crecimiento (Growing Season Length).

Sea  $T_{ij}$  la temperatura media en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días entre la primera ocurrencia de por lo menos 6 días consecutivos con:

$$T_{ij} > 5^{\circ}\text{C}$$

Y la primera ocurrencia después de 1° Julio (1° Enero en el Hemisferio Sur) de por lo menos 6 días consecutivos con:

$$T_{ij} < 5^{\circ}\text{C}$$

### 6. TXx. Temperatura máxima extrema.

Sea  $T_{Xkj}$  la temperatura máxima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La máxima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TXx_j = \max(T_{Xkj})$$

### 7. TNx. Temperatura mínima más alta.

Sea  $T_{nkj}$  la temperatura mínima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:

$$TNx_j = \max(T_{nkj})$$

### 8. TXn. Temperatura máxima más baja.

Sea  $TX_{kj}$  la temperatura máxima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La mínima temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TXn_{kj} = \min(TX_{kj})$$

### 9. TNn. Temperatura mínima extrema.

Sea  $Tn_{kj}$  la temperatura mínima diaria en el mes  $k$ , periodo  $j$ . La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj})$$

### 10. Tn10p. Frecuencia de noches frías.

Sea  $Tn_{ij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_nen10$  el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El índice indica el porcentaje de tiempo, donde:

$$Tn_{ij} < T_nen10$$

### 11. Tx10p. Frecuencia de días frescos.

Sea  $Tx_{ij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_xen10$  el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. El índice indica el porcentaje del tiempo en el que:

$$Tx_{ij} < T_xen10$$

### 12. Tn90p. Frecuencia de noches cálidas.

Sea  $Tn_{ij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_nen90$  el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$Tn_{ij} > T_nen90$$

### 13. Tx90p. Frecuencia de días calurosos.

Sea  $T_{x\bar{i}}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_{x\text{en}90}$  el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. El porcentaje del tiempo es determinado, donde:

$$T_{x\bar{i}} > T_{x\text{en}90}$$

### 14. WSDI. Duración de los periodos cálidos (Warm Spells Duration Index).

Sea  $T_{x\bar{i}}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_{x\text{en}90}$  el día calendario del percentil 90 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$T_{x\bar{i}} > T_{x\text{en}90}$$

### 15. CSDI. Duración de los periodos fríos (Cold Spells Duration Index).

Sea  $T_{n\bar{i}}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  en el periodo  $j$  y sea  $T_{n\text{en}10}$  el día calendario del percentil 10 centrado en una ventana de 5-días. Entonces el número de días por periodo es sumado donde, en intervalos de por lo menos 6 días consecutivos:

$$T_{n\bar{i}} < T_{n\text{en}10}$$

### 16. DTR. Rango diario de temperatura (Diurnal Temperature Range).

Sean  $T_{x\bar{i}}$  y  $T_{n\bar{i}}$  las temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $I$  representa el número de días en  $j$ , entonces:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (T_{x\bar{i}} - T_{n\bar{i}})}{I}$$

### 17. RX1day. Precipitación máxima en un día.

Sea  $RR_{\bar{i}}$  el total diario de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Entonces los valores máximos de 1-día para el periodo  $j$  son:

$$Rx1day_j = \max(RR_{\bar{i}})$$

### 18. Rx5day. Precipitación máxima en cinco días.

Sea  $RR_{kj}$  la cantidad de precipitación para el intervalo de cinco días terminando en  $k$ , periodo  $j$ . Entonces los valores máximos de 5-días para el periodo  $j$  son:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$$

### 19. SDII. Índice simple de intensidad diaria (Simple Daily Intensity Index).

Sea  $RR_{wj}$  la cantidad diaria de precipitación en días húmedos,  $w(RR \geq 1mm)$  en el periodo  $j$ . Si  $W$  representa el número de días húmedos en  $j$ , entonces:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^n RR_{wj}}{W}$$

### 20. R10. Días con lluvia mayor a 10 mm.

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

### 21. R20. Días con lluvia mayor a 20 mm.

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

### 22. Rnn. Días con lluvia mayor a nn mm.

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $nn$  representa cualquier valor razonable de precipitación diaria entonces, cuente el número de días donde:

$$RR_{ij} \geq nmm$$

### 23. CDD. Días secos consecutivos (Consecutive Dry Days)

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el más grande número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1mm$$

#### 24. CWD. Días húmedos consecutivos (Consecutive Wet Days)

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Cuente el más grande número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

#### 25. R95pTOT. Días muy húmedos.

Sea  $RR_{wj}$  la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo ( $RR \geq 1.0mm$ ) en el periodo  $j$  y sea  $RR_{wr95}$  el percentil 95<sup>th</sup> de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si  $W$  representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R95 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ donde } RR_{wj} > RR_{wr95}$$

#### 26. R99p. Días extremadamente húmedos.

Sea  $RR_{wj}$  la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo ( $RR \geq 1.0mm$ ) en el periodo  $j$  y sea  $RR_{wr99}$  el percentil 99<sup>th</sup> de precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si  $W$  representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:

$$R99 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ donde } RR_{wj} > RR_{wr99}$$

#### 27. PRCPTOT. Precipitación total.

Sea  $RR_{ij}$  la cantidad diaria de precipitación en el día  $i$  en el periodo  $j$ . Si  $I$  representa el número de días en  $j$ , entonces

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

### 5.3. Selección de datos

Habiendo establecido que el dominio, se procede a recolectar los datos, evaluarlos y realizar un análisis exploratorio para familiarizarse con ellos y poder determinar el alcance de la investigación.

La complejidad de la selección de datos estuvo determinada por:

1. La Arquitectura:
  - Diferentes DBMS,
  - Diferentes tipos de bases de datos (Host, Relacionales, Desktop, Archivos)
  - Diferentes plataformas tecnológicas(Host, PC, Unix)
  - Protocolos de comunicación (TCP/IP, IPX/SPX, Proprietarios),
  - Juegos de caracteres (ASCII, EBCDIC, diferentes lenguajes) y
  - Tipos de datos (Fechas, Horas, Numéricos, Lógicos).
  
2. Las fuentes de información:
  - Sistemas operacionales o transaccionales, que incluyen aplicaciones desarrolladas de acuerdo a las necesidades de la organización.
  - Sistemas de información departamentales, hojas de cálculo, etcétera.
  - Fuentes de información externa.

3. Los proveedores de datos, como se muestra en la

Figura 5.3.f1, fueron:

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Federal (SEMARNAT-Federal),
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Delegación Federal en Puebla (SEMARNAT -Puebla),
- Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT),
- Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN),
- Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA),
- Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México,
- Instituto Nacional de Ecología (INE),
- Sistema de Cálculo de Indicadores de la Calidad del Aire (SCICA),
- Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial,
- Secretaría de Salud.

4. Datos recolectados:

4.1. Zonas Geográficas

- 1) Zona norte de la Ciudad (Estación Tecnológico),
- 2) Zona centro poniente (Estación Ninfas),
- 3) Zona noreste (Estación Serdán) y
- 4) Zona sur de la ciudad (Estación Agua Santa)

4.2. El Periodo comprendido a los años 2000 y 2011.

4.3. Los doce meses (enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre)

4.4. Los días de cada mes.

4.5. Las 24 horas (hh,mm,ss) que corresponden a cada día.

4.6. Las estaciones (primavera, verano, otoño e invierno).

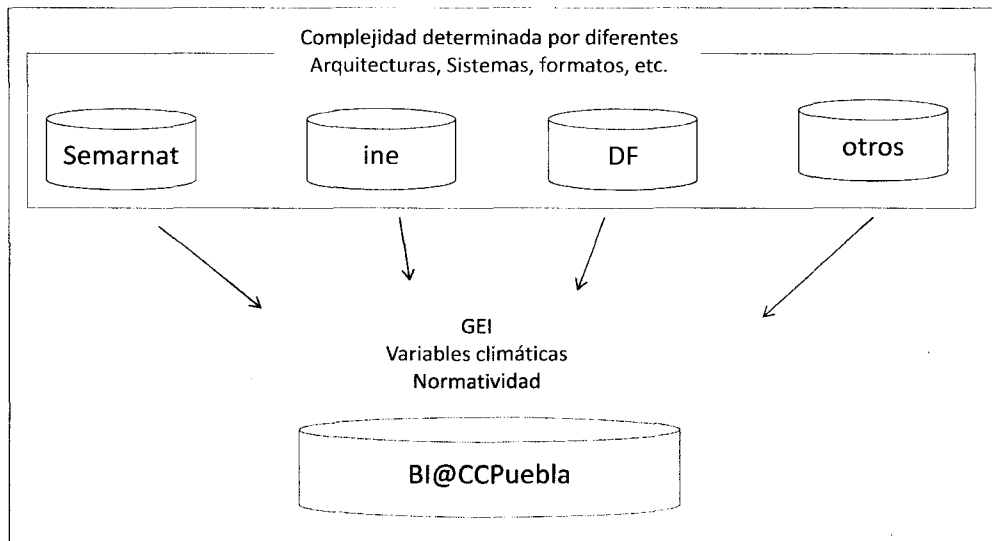
4.7. Los Contaminantes

- CO<sub>2</sub>.
- O<sub>3</sub>.
- NO<sub>2</sub>.
- SO<sub>2</sub>.
- PM<sub>10</sub>.
- NO<sub>x</sub>
- H<sub>2</sub>S

4.8. Las Variables Climáticas

- Granizo.
- Temperatura media,
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.

- Humedad relativa.
- Radiación solar.
- Velocidad del viento.
- Ráfagas máximas de viento.
- Presión atmosférica.
- Presión barométrica.
- Cámara de visibilidad.
- Precipitación total como nieve.
- Lluvia.
- Tormenta.
- Nieve.
- Niebla.
- Temperatura máxima mensual.
- Temperatura mínima mensual.
- Temperatura media mensual.
- Precipitación total mensual.
- Promedio de la velocidad del viento mensual.
- Ráfagas máximas de viento mensual.



**Figura 5.3.f1. Integración de datos de BI@CCPuebla.**

Principales proveedores de datos, reglas y normas aplicables.

#### **5.4. Preproceso de datos**

La limpieza de datos no solamente implicó quitar los datos no válidos, sino también buscar las correlaciones ocultas en los datos, identificar los orígenes de datos que son más precisos y determinar qué columnas son las más adecuadas para usarse en el análisis.

Los sistemas transaccionales contenían datos que no habían sido depurados y que debían ser limpiados. En este caso:

- Valores por defecto.
- Ausencia de valor
- Mismos campos con utilidades diferentes
- Valores encriptados
- Valores contradictorios
- Uso inapropiado de los campos

- Falta de integridad relacional
- Reutilización de llaves primarias
- Identificadores que no son únicos.
- Selección del primer valor de una lista por defecto.

La limpieza de datos se dividió en etapas:

1. Depuración de los valores.

En este proceso se comprobó si los valores eran correctos, en este proceso no fue suficiente saber si son correctos o no, también se consideraron los fundamentos y motivos, se localizaron e identificaron los elementos individuales de información en las fuentes de datos y se aislaron en los archivos destino.

2. Corrección.

En este proceso se corrigieron los valores individuales de los atributos usando algoritmos de corrección y fuentes de datos externas.

3. Estandarización.

En este proceso se aplicaron rutinas de conversión para transformar valores en formatos definidos y consistentes.

4. Relacionar.

En este proceso se buscó la integridad y se relacionaron los valores de los registros, corrigiéndolos y estandarizándolos, basándose en reglas de operación y eliminación de duplicados.

5. Consolidación: En este proceso se analizaron e identificaron relaciones entre registros relacionados y se vincularon a una sola representación.

Derivado de la limpieza de datos se estableció el alcance para el conjunto de datos en estudio:

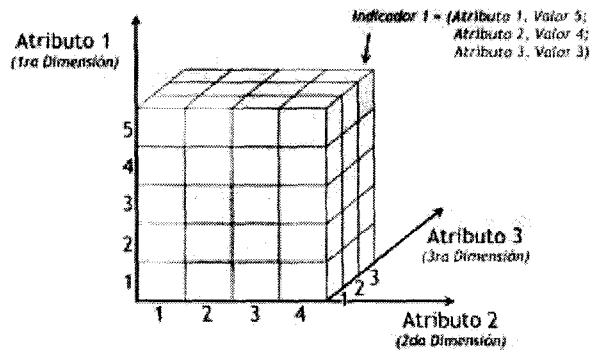
1. Zona Geográfica: zona sur del valle de Puebla en la estación de monitoreo denominada Agua Santa.
2. Periodo: 1 de enero de 2002 a 31 de diciembre de 2007.
3. Las 24 horas de cada día del periodo establecido en el punto anterior.
4. Las estaciones del año del periodo establecido en el punto 2.
5. Los contaminantes criterio: CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>.
6. Las variables climáticas: temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad relativa.

Es importante mencionar que este preproceso fue realmente exhaustivo y una vez concluido permitió determinar el alcance determinado por la suficiencia de datos y la calidad de los mismos.

## 5.5.Transformación

En esta etapa los datos se transformaron, se integraron y se redujeron. También se buscó mejorar la calidad de los datos con el fin de mejorar el desempeño de los algoritmos de aprendizaje.

La transformación se hace partiendo de los datos una vez que han pasado por el proceso de limpieza generándose la estructura como se muestra en la Figura 5.5.fl.



**Figura 5.5.fl. Representación de una estructura dinámica para OLAP.**

La imagen muestra la estructura multidimensional resultado de la transformación de los datos.

Se transformaron los datos de acuerdo con las reglas de operación, políticas, normas y estándares que han sido establecidos. La transformación incluye: cambios de formato, sustitución de códigos, valores derivados y agregados.

En el proceso de transformación, se puso particular atención en la calidad de los datos ya que la calidad de los datos impacta directamente en la confiabilidad del modelo. Los parámetros que se trabajaron para medir la calidad de los datos fueron:

**Precisión:** Los datos en el modelo representan con precisión una realidad o que existe una fuente de datos que se puede verificar.

**Integridad:** Se mantiene constante la estructura de los datos y las relaciones a través de las entidades y los atributos.

**Coherencia:** Los elementos de los datos constantemente están definidos y comprendidos.

**Totalidad:** Se buscan todos los datos o escenarios posibles.

**Disponibilidad:** Cuando se requieren los datos, siempre están disponibles.

**Granularidad:** El nivel de detalle de los datos en la tabla de hechos representa el nivel más atómico.

Como resultado de la transformación se generaron estructuras dinámicas como la que se muestra en la Figura 5.5.f2.

The screenshot displays a complex data interface with multiple dimensions. At the top, there are several filter menus: 'fecha/hora por semana', 'fecha/hora por mes', 'fecha por semana', 'fecha por mes', 'daños/mes', 'mes', 'año', and 'hora/día'. Below these, there are more specific filters for 'RH', 'TMP', 'WS', 'CO2', 'NO2', 'SO2', and 'PM10'. The main area is a grid where rows represent different time periods (e.g., 02/10, 02/11, 02/12) and columns represent different variables or locations. The data is organized into a hierarchical structure with 'Total' labels and numerical values.

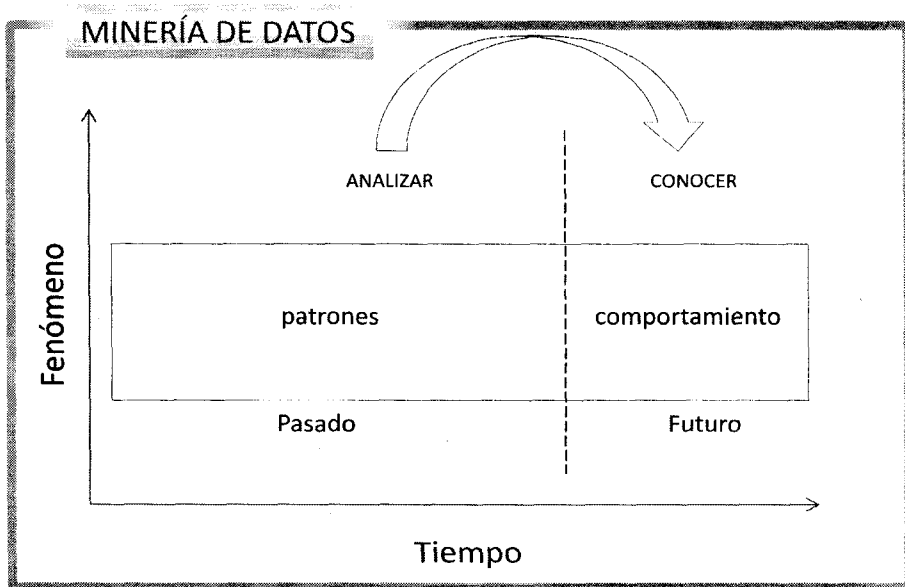
**Figura 5.5.f2. Representación de la estructura dinámica multidimensional para calidad de aire y cambio climático. Agua Santa Puebla, México.**

En esta imagen se muestra una estructura que permite consultar las dimensiones de las variables climáticas (RH, TMP, WS) así como de los contaminantes (CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>) en función del tiempo (horas, días, meses, estaciones, años).

## 5.6. Minería de datos

La minería de datos se define como el proceso completo de extracción de información, que se encarga además de la preparación de los datos y de la interpretación de los resultados obtenidos, a través de grandes cantidades de datos, posibilitando de esta manera el encuentro de relaciones o patrones entre los datos procesados. Los datos almacenados en la base de datos no suelen proporcionar beneficios directos, su valor reside en la información que puedan proporcionar, información que ayude a la toma de decisiones o a mejorar la comprensión de los fenómenos que nos rodean (Michalewicz, Schmidt,

Michalewicz&Chiriac ,2007). La figura 5.5.fl muestra los aspectos importantes del proceso de minería de datos.



**Figura 5.5.fl. Minería de datos.**

Estudiar, analizar y encontrar patrones de comportamiento de un fenómeno, en el pasado, para conocer su comportamiento futuro es el objetivo primordial de este proceso. En el contexto de calidad del aire y cambio climático, estudiar el pasado de la calidad del aire y el cambio climático para poder presentar escenarios futuros de la región sur del valle de Puebla, México.

### **5.6.1. Proceso de minería de datos**

La minería de datos usa principios estadísticos contrastados para detectar patrones en los datos, ayudando en la toma de decisiones inteligentes sobre problemas complejos. La aplicación de los algoritmos de minería de datos, a los datos permite predecir tendencias, identificar patrones, crear reglas y recomendaciones, analizar la secuencia de eventos en conjuntos de datos complejos y obtener nuevos puntos de vista (Peña, 2006).

Existen distintas tecnologías que nos permiten analizar la información que reside en un almacén de datos, pero la más extendida es el OLAP (On Line Analytical Processing) (Bouman & Dongen, 2006 y Inmon, Bonnie & Fryman, 2008).

El objetivo del uso de OLAP, es agilizar la consulta sobre el volumen de datos, llevar a cabo el análisis de los mismos al máximo nivel de agregación así como descubrir las relaciones y las tendencias que otras herramientas menos flexibles no pueden aportar, para lo cual fue necesario generar estructuras multidimensionales o cubos en donde el almacenamiento físico de los datos se realiza en un vector multidimensional.

A estos tipos de análisis se les llama “multidimensionales”, porque nos facilitan el análisis de un hecho desde distintas perspectivas o dimensiones. Esta es la forma natural que se aplica para analizar la información por parte de los tomadores de decisiones, ya que los modelos de negocio normalmente son multidimensionales.

En el cubo se tienen las dimensiones para cada uno de los contaminantes, las dimensiones para las variables, la dimensión para el indicador de la calidad del aire (color del semáforo que indica la calidad del aire, verde-buena, amarillo-regular, naranja-mala, rojo-muy mala, violeta-extremadamente mala); así como el valor numérico en la escala que permite manejar los colores del semáforo y que es indicador de la calidad del aire en IMECAS (valor numérico), los valores estandarizados en IMECAS para cada uno de los contaminantes criterio, el indicador para cada uno de los contaminantes en el que se muestra si el contaminante se encuentra en norma, para las diferentes zonas del estado de Puebla monitoreadas por las estaciones ubicadas en la zona norte de la ciudad (estación

Tecnológico), zona centro poniente (estación Ninfas), zona noreste (estación Serdán) y zona sur de la ciudad (estación Agua Santa), durante el periodo comprendido a los años 2002 y 2008, meses (enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre), día (número del mes), hora (hh,mm,ss) y por estaciones (primavera, verano, otoño e invierno).

Es importante precisar que aún cuando no se cuente con los datos completos, es necesario generar una estructura que se encuentre preparada para la incorporación de los mismos en un tiempo futuro.

El contenido de un cubo individual corresponde al clima y a la calidad del aire en una zona específica, y en un año, estación del año, mes, día y hora específicos. Los contenidos de cada uno de los cubos individuales recogen lo que llamamos “hechos”. En este caso como el cubo corresponde al clima y al nivel de calidad del aire los cubos individuales contienen dos hechos.

Existen distintos tipos de herramientas OLAP. La diferencia entre ellas, básicamente, depende de cómo acceden a los datos, para esta investigación se hizo uso de HOLAP.

- ROLAP: Se accede a una base de datos relacional (RDBMS). Accede habitualmente sobre un modelo “estrella”. La principal ventaja es que no tiene limitaciones en cuanto al tamaño, pero es más lento que el MOLAP.

- MOLAP: La implementación OLAP accede directamente sobre una base de datos multidimensional (MDDDB). La ventaja principal de esta alternativa es que es muy rápida en los tiempos de respuesta y la principal desventaja es que, si se requiere cambiar las dimensiones, es necesario recargar el cubo.
- HOLAP: Accede a los datos de alto nivel en una base de datos multidimensional y a los atómicos directamente sobre la base de datos relacional. En esencia utiliza las ventajas del ROLAP y del MOLAP.

Es necesario conocer los datos para tomar las decisiones adecuadas al crear los modelos de minería de datos. Entre las técnicas de exploración se incluyen calcular los valores mínimos y máximos, calcular la media y las desviaciones estándar, y examinar la distribución de los datos. Las desviaciones estándar y otros valores de distribución pueden proporcionar información útil sobre la estabilidad y exactitud de los resultados.

El proceso de minería de datos implica la interacción de varios componentes desde el origen de datos pasando por el entrenamiento las pruebas y la predicción.

La estructura de minería de datos está formada por una estructura de datos lógica que define el dominio de datos a partir del cual se generan los modelos de minería de datos. Una misma estructura de minería permitió admitir varios modelos de minería de datos que comparten el mismo dominio pero bajo condiciones diferentes.

La estructura de minería de datos especifica la vista de datos de origen, el número y el tipo de columnas, y una partición opcional en conjuntos de entrenamiento y de pruebas. Una misma estructura de minería de datos puede admitir varios modelos de minería de datos que compartan el mismo dominio.

Para definir la estructura de minería de datos se realizaron los siguientes pasos:

- Definición de un origen de datos.
- Selección de las columnas de estructura y definición de las claves.
- Particiones de los datos de origen en un conjunto de entrenamiento y en un conjunto de pruebas.
- Procesamiento de la estructura.

Cuando se definieron los datos para la estructura de minería de datos, también se especificó que algunos de los datos se estarían usando para el aprendizaje y otros para las pruebas.

Para analizar los datos de la estructura de minería se realizaron las siguientes tareas:

- Modificaciones a la estructura y al modelo de minería de datos que se crearon inicialmente.
- Implementación de nuevos modelos basados en las estructuras de minería de datos existente.
- Entrenamiento y revisión de los modelos de minería de datos.
- Análisis comparativo de los modelos mediante gráficos de precisión.
- Consultas de predicción basadas en modelos de minería de datos.

El proceso del modelo se denomina entrenamiento. El entrenamiento hace referencia al proceso de aplicar un algoritmo matemático concreto a los datos de la estructura para extraer patrones. Los patrones que se encuentren en el proceso de entrenamiento dependerán de la selección previa de los datos de entrenamiento, el algoritmo que se elija y cómo se haya configurado el algoritmo.

Para crear el modelo de minería de datos se realizaron las siguientes tareas:

- Creación de la estructura de minería de datos subyacente.
- Selección de un algoritmo.
- Especificación de las columnas y el uso del modelo.
- Parametrización de las variables para ajustar el procesamiento del algoritmo.
- Procesamiento del modelo.

El algoritmo identifica las reglas y los patrones en los datos, y después utiliza dichas reglas y patrones para completar el modelo.

### **5.6.2. Algoritmo de minería de datos**

El algoritmo de minería de datos es el mecanismo que crea un modelo de minería de datos. Para crear un modelo, un algoritmo analiza primero un conjunto de datos y luego busca patrones y tendencias específicos. El algoritmo utiliza los resultados de este análisis para definir los parámetros del modelo de minería de datos. A continuación, estos parámetros se

aplican en todo el conjunto de datos para extraer patrones procesables y estadísticas detalladas.

### **5.6.2.1. Series de tiempo**

Es un recurso matemático muy usado para hacer análisis de datos y determinar patrones sobre objetos a través del tiempo.

A menudo se cuenta con una gran cantidad de información acerca de las características de ciertas unidades de observación, que bien pueden ser fenómenos naturales, individuos, empresas o países, y es comúnmente recopilada con fines de análisis, lo cual permite llevar a cabo una adecuada planeación y toma de decisiones. Al registro metódico de la medición u observación numérica, efectuada a intervalos de tiempo fijos, de tales características o variables, se le conoce generalmente como una serie de tiempo. Si, se conocen los valores pasados de la serie y no fuera posible predecir con total certeza el próximo valor de la variable, decimos que la serie es no determinista o aleatoria, y son de éste tipo las que usaremos en esta investigación (Abril, 2006 y Meek, Chickering & Heckerman, 2008).

Los datos de las series de tiempo se examinan con la esperanza de descubrir un patrón permanente que se pueda aprovechar para preparar una predicción. Con el objeto de identificar dicho patrón, es conveniente muchas veces pensar que la serie de tiempo consta de varios componentes.

Uno de los métodos de análisis de series de tiempo es el conocido como descomposición de series, el cual presupone que la serie de tiempo está formada por una

componente de tendencia-ciclo, que representa al movimiento de largo plazo de la serie, otra componente de estacionalidad, cuya utilidad es la de representar básicamente a los efectos producidos por fenómenos que se repiten cada año con cierta constancia, y una componente más de irregularidad que sirve para caracterizar los movimientos imprevisibles y considerados como aleatorios.

Con la metodología de descomposición de series se pretende identificar y estimar a cada una de las componentes por separado; además, dentro de este contexto podría pensarse que las componentes de tendencia-ciclo y estacionalidad constituyen la parte determinista o semideterminista de la serie, mientras que la componente irregular vendría ser su parte no determinista o estocástica.

#### **5.6.2.2. Predicción para series temporales**

Se denomina predicción a la estimación de valores futuros de la variable en función del comportamiento pasado de la serie. Uno de los campos en los que se aplica la predicción mediante series temporales es el de la meteorología o en la predicción de otros fenómenos naturales (Izquierdo, Pajares & Hernández, 2006).

Pronosticar o predecir es muy importante ya que las predicciones de hechos futuros se pueden incorporar al proceso de toma de decisiones. Al predecir hechos que ocurrirán en el futuro, es necesario tener datos confiables de los hechos que han ocurrido en el pasado y que son objetos de interés. Es decir, con el objeto de preparar una predicción, quien la elabora, tiene que analizar la información anterior y basar la predicción en los resultados del análisis. Las personas que elaboran las predicciones utilizan los datos pasados de la

manera siguiente. Primero se analizan los datos para poder identificar un patrón que se pueda utilizar para describirlo. Después, este patrón se extrapola, o se amplía, hacia el futuro con el objeto de preparar un pronóstico.

Existen varios métodos que se pueden usar para predecir eventos futuros. Estos métodos se dividen en dos tipos básicos: métodos cualitativos y cuantitativos.

Generalmente en los métodos cualitativos se usa la opinión de expertos para establecer pronósticos para predecir en forma subjetiva hechos futuros. Este método es común usarlo cuando no existe suficiencia de datos históricos o no se encuentran disponibles (García, 2007).

Por otro lado, los métodos cuantitativos requieren del análisis de información histórica para pronosticar valores futuros de una variable en la que se tenga interés. Los modelos cuantitativos usados para establecer pronósticos se pueden agrupar en dos clases: modelos univariantes y modelos causales (García, 2007).

Uno modelo univariante para pronósticos predice valores futuros de una serie de tiempo con base solo en los valores anteriores de la misma serie de tiempo. Cuando se usa un modelo univariante, los datos anteriores se analizan con el objeto de identificar un patrón de datos. Luego con el supuesto de que se continuará con el futuro, este patrón se extrapola con el objeto de generar predicciones.

La aplicación de los modelos causales para establecer pronósticos requiere de la identificación de otras variables que se relacionan con la variable que se desea predecir.

Una vez identificadas estas variables relacionadas, se desarrolla un modelo estadístico que describe la relación entre estas variables y la variable que se desea pronosticar. La relación estadística derivada se usa luego para pronosticar la variable de interés.

Una de las técnicas cuantitativas de los pronósticos más completa es la denominada Box-Jenkins. La metodología Box-Jenkins es la técnica que requiere más observaciones de la serie de tiempo que otras técnicas, se puede utilizar para pronosticar cualquier serie de tiempo (Tereshchenko, Figueroa & Filonov, 2007; Sánchez & Nájera, 2007 y Correa, Muñoz & García, 2008).

Box y Jenkins, introdujeron los modelos ARIMA como una pequeña revolución en el enfoque del análisis de series temporales, con el propósito de establecer mejores mecanismos de pronóstico y control.

Para este tipo de modelos, el primer paso consiste en convertir nuestra serie de observaciones en una serie estacionaria, que es aquella en la que ni la media, ni la varianza, ni las autocorrelaciones dependen del tiempo. Una vez "estabilizada" la serie mediante las transformaciones adecuadas, se procede a estudiar la presencia de regularidades en la serie, para identificar un posible modelo matemático. Para ello se calculan la función de autocorrelación simple y parcial, y se compara su forma con un catálogo de patrones gráficos, que son típicos de los diferentes modelos propuestos, seleccionando el modelo que más se adecue a la forma de las funciones de autocorrelación que hemos obtenido con nuestros datos.

Una vez elegida la forma del modelo, se estiman los coeficientes del mismo, y finalmente se procede a efectuar un análisis de los residuos (diferencia entre el valor realmente observado y el valor previsto por el modelo), con el fin de comprobar si el ajuste del modelo a nuestros datos es adecuado. Si no lo fuera repetimos el proceso buscando otros modelos.

Cuando el modelo es suficientemente válido, sobre la serie estacionaria, procedemos a deshacer la transformación inicialmente efectuada para estabilizar la serie, y ahora comprobamos si los pronósticos del modelo son adecuados con nuestros datos, volviendo a comenzar la búsqueda de otro modelo si no fuera el caso. Puede por tanto tratarse de un proceso iterativo de mejora del modelo.

En el modelo, cada valor tomado por la variable en un instante dado, está influido por los valores de la variable en momentos anteriores, y se expresa como una relación lineal, función de: valores recientes de la variable, ruidos en valores recientes de la variable, valores remotos de la variable y ruidos en valores remotos de la variable.

El esquema general del modelo ARIMA es el siguiente: está constituido por una combinación de  $p$  términos AR (proceso autorregresivo), y  $q$  términos MA (proceso de medias móviles). La parte AR modela la influencia de los valores anteriores de la serie ( $X_{t-1}$  hacia atrás), y la parte MA modela la influencia del ruido en valores anteriores de la serie ( $Z_{t-1}$  hacia atrás), junto con el término  $Z_t$  que corresponde al ruido esperado en el mismo momento  $t$  en el que se estima el nuevo valor de la variable  $X$ .

La letra I que aparece en el nombre del modelo completo -ARIMA-, corresponde al proceso último a realizar, una vez definido el tipo de modelo y estimados los coeficientes de éste, ya que entonces hay que restablecer las características originales de la serie de datos, que fue transformada para inducir estacionalidad. A ese proceso inverso se denomina en general Integración y aporta esa letra que completa el nombre (Izquierdo, Pajares & Hernández, 2006; Jaramillo, González, Nuñez, Portilla, Lucio, 2007 y González, 2009).

### **5.6.2.3. Algoritmo ARIMA**

El algoritmo de series de tiempo aplicado a esta investigación considera los dos algoritmos independientes: el algoritmo ARTXP, que se usa para predecir el siguiente valor probable de una serie y el algoritmo ARIMA para mejorar la exactitud de la predicción a largo plazo.

El algoritmo de series de tiempo utiliza cada algoritmo por separado para entrenar el modelo y, a continuación, combina los resultados para obtener la mejor predicción de un número variable de predicciones.

El algoritmo ARTXP se basa en el algoritmo de árboles de decisión que es un modelo de árbol con regresión automática que permite representar los datos periódicos de una serie temporal. El algoritmo ARTXP relaciona un número variable de elementos pasados con cada elemento actual que se predice. El nombre, ARTXP, deriva del hecho de que el algoritmo ART, o método de árbol de regresión automática, se aplica a varios estados anteriores desconocidos.

El algoritmo ARIMA se usa para la predicción a largo plazo, los modelos de serie temporal pueden ser estacionarios o no estacionarios. Los modelos estacionarios son aquellos que revierten a una media, aunque podrían tener ciclos, mientras que los no estacionarios no tienen un centro de equilibrio y están sujetos a mayores variaciones o cambios introducidos por los impactos o variables externas.

El objetivo de la diferenciación es hacer que una serie temporal se estabilice y se convierta en estacionaria. El orden de diferencia representa el número de veces que se toma la diferencia entre los valores para una serie temporal.

El algoritmo de serie temporal toma los valores de una serie de datos e intenta ajustarlos a un patrón. Si la serie de datos todavía no es estacionaria, el algoritmo aplica un orden de diferencia. Cada incremento en el orden de diferencia tiende a hacer que la serie temporal sea más estacionaria.

El orden de diferencia usado en el algoritmo de serie temporal es -1, lo que significa que el algoritmo detectará automáticamente el mejor valor para el orden de diferencia. Generalmente, el mejor valor es 1 pero, en ciertas circunstancias, el algoritmo aumentará el valor hasta un máximo de 2.

El algoritmo de serie temporal determina el orden de diferencia óptimo de ARIMA mediante los valores de regresión automática. El algoritmo examina los valores de AR y establece un parámetro oculto, `ARIMA_AR_ORDER`, que representa el orden de los términos de AR. Este parámetro oculto, `ARIMA_AR_ORDER`, tiene un intervalo de

valores comprendido entre -1 y 8. Con el valor predeterminado -1, el algoritmo seleccionará automáticamente el orden de diferencia apropiado.

Siempre que el valor de ARIMA\_AR\_ORDER sea mayor que 1, el algoritmo multiplica la serie temporal por un término polinómico. Si un término de la fórmula polinómica se resuelve con una raíz de uno o con un valor cercano a 1, el algoritmo intenta conservar la estabilidad del modelo quitando el término e incrementando el orden de diferencia en 1. Si el orden de diferencia ya es el máximo, el término se quita y el orden de diferencia no cambia.

### **5.6.2.3. 1. Propiedades de ARIMA**

Características generales que ha de tener un buen modelo ARIMA.

#### **Parsimonia (Parquedad)**

Box y Jenkins ponen énfasis en que la clave de un buen modelo ARIMA es que cumpla el principio de parsimonia, que significa “sencillez”. Así, un modelo se dice que es parsimonioso si se ajusta a la serie de forma adecuada sin usar coeficientes innecesarios. El principio de parsimonia es importante porque, en la práctica, un modelo parsimonioso suele generar mejores predicciones. La idea de la parsimonia nos da una fuerte orientación práctica a la hora de modelar e identificar una modelo ARIMA. Así, no tendremos que buscar el proceso ARIMA que realmente genera la serie temporal, sino que nos conformaremos con encontrar un modelo que se aproxime correctamente, tanto práctica como estadísticamente, al comportamiento de la serie temporal que estudiamos.

Una idea importante es que el principio de parsimonia no tiene que ser sobrevalorado. También tenemos que tener en cuenta el resto de propiedades de un buen modelo ARIMA y valorarlas equitativa y proporcionalmente.

### **Estacionariedad**

Otra condición de gran importancia para lograr un buen modelo ARIMA es que la serie sea estacionaria. Asumir que una serie sea estacionaria nos permite desarrollar un marco de trabajo bastante simple y usar herramientas estadísticas de muestreo de gran potencia. Así, si la media de un proceso es constante, podremos usar  $N$  observaciones para estimarla, mientras que sería mucho más complicado si la media no fuese estacionaria.

Si una serie no es estacionaria podemos modificar dicha serie para convertirla en estacionaria. Dado que las modificaciones son conocidas, podemos posteriormente invertirlas para obtener las predicciones en la misma métrica que la serie original.

### **Buenos coeficientes estimados**

Que un modelo tenga unos buenos coeficientes estimados, está relacionado con dos vertientes distintas. La primera es que los coeficientes, tanto los de la componente autorregresiva ( $\phi$ 's) como los de la componente de media móvil ( $\theta$ 's) sean significativamente distintos de cero. La segunda es que las estimaciones de los coeficientes  $\phi$ 's y  $\theta$ 's no deben estar altamente correlacionadas entre sí. Si están muy correlacionadas, tienden a ser inestables, incluso siendo estadísticamente significativos.

### **Los residuos son ruido blanco**

Esta proposición es muy importante a la hora de verificar un modelo ARIMA, una vez se han realizado las etapas de identificación y ajuste.

Para comprobar incorrelación se utilizan distintos métodos de inferencia estadística (típicamente contrastes t y chi-cuadrado) aplicados a cada coeficiente de la función de autocorrelación y a la función de autocorrelación completa.

### **Debe ajustarse bien a los datos**

Que un modelo se ajuste todo lo bien posible a los datos de los que es generado, es una hipótesis asumible y lógica. Esta bondad del ajuste se mide en términos de error. Distintas medidas de error son computables en la etapa de ajuste y se han analizado previamente.

Los márgenes asumibles del valor de estos errores de ajuste depende, ciertamente, de la naturaleza de la serie, por lo que no hay un criterio unívoco de comprobación de la adecuación del ajuste.

### **Debe dar buenas predicciones**

Aunque el modelo haya sido ajustado y prediga el pasado de una forma suficientemente correcta, lo que realmente se requiere de cualquier modelo de predicción es que realice predicciones satisfactorias.

La evaluación de un modelo según este criterio se debe realizar mediante el uso durante un periodo de prueba o de verificación.

#### **5.6.2.3.2. Esquemas de identificación para ARIMA**

Box y Jenkins proponen un procedimiento práctico en tres etapas para hallar el modelo ARIMA óptimo.

##### **Etapal.- Identificación**

En esta etapa analizamos mediante distintas técnicas cual es el modelo ARIMA que, mejor se puede ajustar a la serie. Según la metodología clásica, las herramientas que permiten identificar el patrón que sigue la serie son las funciones de autocorrelación.

La idea básica para utilizar estas funciones de autocorrelación es la siguiente: cada modelo ARIMA tiene asociadas unas funciones de autocorrelación teóricas. En esta etapa comparamos las funciones de autocorrelación estimadas con las teóricas y elegimos como modelo tentativo aquel al que más se aproximen ambas. El modelo que obtengamos es, como se ha dicho anteriormente, tentativo y debemos realizar el resto de las etapas para comprobar que realmente es el adecuado.

##### **Etapal.- Estimación**

En esta etapa obtenemos las estimaciones de los parámetros del modelo ARIMA, una vez hemos fijados en la etapa de identificación los órdenes autorregresivo y de

media móvil. Esta estimación se realiza mediante minimización cuadrática del error de ajuste. Esta etapa nos proporciona señales de aviso sobre si el modelo es adecuado o no. En particular, si los coeficientes no cumplen ciertas inecuaciones derivadas de la invertibilidad y la estacionariedad, el modelo ajustado debe ser rechazado.

### **Etapa 3.- Comprobación**

Box y Jenkins proponen algunas comprobaciones de hipótesis que deben ser realizadas para comprobar que el modelo estimado es estadísticamente adecuado. Algunas de las comprobaciones que se deben realizar son que los residuos cumplen las hipótesis de ruido blanco o que no existen coeficientes no significativos.

Una vez hemos comprobado que el modelo es correcto, podemos realizar predicciones usando el mismo.

#### **5.6.2.3.3. Parámetro de periodización ARIMA**

##### **Autodetección de periodización**

Valor parametrizado 0,6.

Especifica un valor numérico entre 0 y 1 que detecta la periodización.

Si el valor está más próximo a 0, la periodización solo se detecta en datos con una periodización muy marcada.

Cuando este valor está más próximo a 1, se favorece la detección de varios patrones que son casi periódicos y la generación automática de sugerencias de periodicidad.

El aumento del número de sugerencias de periodicidad puede aumentar significativamente el tiempo de entrenamiento de los modelos, pero proporciona modelos más precisos.

### **Crecimiento del árbol de decisión**

Valor parametrizado 0,1.

Controla el crecimiento del árbol de decisión.

Al disminuir este valor, aumenta la posibilidad de una división. Al aumentar este valor, disminuye la posibilidad de una división.

### **Método de análisis y predicción**

Valor parametrizado mixed.

Especifica qué algoritmo se ha de utilizar para el análisis y la predicción. Los valores posibles son ARTXP, ARIMA o MIXED.

### **Modelos históricos**

Valor parametrizado 1.

Especifica el número de modelos históricos que se generarán.

### **Intervalo de modelos históricos**

Valor parametrizado 10.

Especifica el intervalo temporal entre dos modelos históricos consecutivos. El valor representa varias unidades de tiempo, donde el modelo define la unidad.

### **Inestabilidad de sensibilidad**

Valor parametrizado 1.

Controla el punto en el que la varianza de la predicción supera un cierto umbral, momento en el cual y el algoritmo ARTXP suprime las predicciones.

El valor predeterminado (1) supervisa la desviación estándar normalizada para cada predicción. En cuanto este valor supera el umbral para cualquier predicción, el algoritmo de serie temporal devuelve un valor NULL y detiene el proceso de predicción.

El valor 0 detiene la detección de inestabilidad. Esto significa que puede crear un número infinito de predicciones, independientemente de la varianza.

### **Valor máximo de la serie**

Valor parametrizado 10.

Especifica el valor máximo que utilizar en las predicciones. Este parámetro se usa, junto con el valor mínimo de la serie, para restringir las predicciones a algún intervalo esperado.

### **Valor mínimo de la serie.**

Valor parametrizado 10.

Especifica el valor mínimo que se puede predecir.

### **Soporte mínimo**

Valor parametrizado 10.

Especifica el número mínimo de segmentos de tiempo necesarios para generar una división en cada árbol de serie temporal. El valor predeterminado es 10.

### **Suavizado**

Valor parametrizado 10.

Especifica cómo se debe combinar el modelo para optimizar el pronóstico. Se puede escribir cualquier valor entre 0 y 1, o utilizar uno de los valores siguientes:

- 0      Especifica que la predicción solo utiliza ARTXP. El pronóstico se optimiza para un menor número de predicciones.
- 1      Especifica que la predicción solo utiliza ARIMA. El pronóstico se optimiza para un gran número de predicciones.
- 0.5    (Valor predeterminado) Especifica que se deben utilizar ambos algoritmos y combinar los resultados para la predicción.

# CAPITULO 6

## **Resultados**

## 6.1. Calidad del aire

Se analizaron las concentraciones de las variables CO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> en el periodo comprendido de enero de 2002 a diciembre de 2007 durante las 24 horas del día.

Tomando como referencia a la tabla 6.1.1 se presentan los siguientes resultados.

AÑO	SEMAFORO	CO2	O3	SO2	NO2	PM10	IMECAS
2002	verde	8757	8018	8760	8760	4709	4272
	amarillo	2	739			3027	3481
	naranja	1	3			874	861
	rojo					124	120
	violeta					26	26
2003	verde	8741	8089	8760	8760	4680	4354
	amarillo	19	670			2829	3179
	naranja		1			1065	1044
	rojo					158	155
	violeta					28	28
2004	verde	8781	8543	8754	8784	5362	5173
	amarillo	2	241	13		2653	2847
	naranja			7		655	642
	rojo			2		89	88
	violeta	1		8		25	34
2005	verde	8759	8444	8760	8760	4105	3993
	amarillo	1	314			4025	4145
	naranja		2			577	570
	rojo					42	41
	violeta					11	11
2006	verde	8760	7339	8760	8759	6499	5424
	amarillo		1407		1	1822	2902
	naranja		14			367	362
	rojo					58	58
	violeta					14	14
2007	verde	8759	4172	8760	8760	8242	3848
	amarillo	1	1415			430	1679
	naranja		906			64	947
	rojo		652			7	658
	violeta		1615			17	1628

**Tabla 6.1.1 Registro de eventos por contaminante criterio por año.**

En la tabla se muestra el número de eventos registrados de acuerdo a la concentración de cada uno de los contaminantes, así como el número de eventos de acuerdo al código de colores establecido en función al riesgo de su incremento para la salud de los individuos.

El 99% de los registros de las concentraciones de CO<sub>2</sub> tienen valores mayores a cero y menores a 50 IMECAS, lo que permite identificarlas con el semáforo en color verde.

Por otro lado, sólo el 0.05% de los registros de las concentraciones de CO<sub>2</sub> tienen valores mayores o iguales a 51 y menores a 100 IMECAS, lo que permite identificarlas con el semáforo en color amarillo.

En las concentraciones de CO<sub>2</sub>, de acuerdo a la norma, no se encontraron indicadores que pongan en riesgo la salud de los individuos, sin embargo, es pertinente mencionar que conforme ha transcurrido el tiempo, los valores registrados se encuentran más cercanos a 50 IMECAS.

Respecto al O<sub>3</sub>, el 84.8% de los registros de las concentraciones de este contaminante, tienen valores mayores a cero y menores a 50 IMECAS, lo que permite identificarlas con el semáforo en color verde, el 9.1% de los registros tienen valores entre 51 y 100 IMECAS y el 6% de los registros tienen valores arriba de 100 IMECAS.

Es importante observar que el 36% de los registros identificados con el semáforo en color verde para O<sub>3</sub>, tienen valores arriba del 25 IMECAS y que este número se ha ido incrementando conforme ha transcurrido el tiempo.

Se observa también que a partir del año 2006; se ha registrado un incremento de los eventos para O<sub>3</sub> que se encuentran arriba de los 51 IMECAS.

Respecto al SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, no existe presencia significativa de estos contaminantes que pongan en riesgo la salud de los individuos, ya que para SO<sub>2</sub>, el 97.8% de los registros tienen valores menores a 10 IMECAS y para el caso de NO<sub>2</sub>, el 99.6% de los registros tienen valores menores a 25 IMECAS; lo que permite identificar las concentraciones de ambos contaminantes con el semáforo en color verde.

Para las partículas PM<sub>10</sub>, los resultados muestran que estas concentraciones son un factor muy importante y determinante en la calidad del aire de la zona. Aproximadamente el 63.8% de registros de concentraciones se encuentran por debajo de los 51 IMECAS, aunque de estos el 70% es mayor a 25 IMECAS.

Anualmente se registra, para PM<sub>10</sub>, un promedio de 3164 eventos, que corresponden al 47% de valores que tienen entre 51 y 200 IMECAS. Esto permite identificarlos con el semáforo en color amarillo, naranja, rojo y violeta.

Por otro lado, como se muestra en la tabla 6.1.2, los registros de IMECAS muestran que las más altas concentraciones de los contaminantes se registran en las estaciones de primavera e invierno; en estas estaciones, en promedio, el 55% de los registros tienen valores mayores a 51 IMECAS. Esto significa que no cumplen con la norma y en consecuencia pone en riesgo la salud de los individuos.

En general, podemos afirmar que respecto a la calidad del aire, esta se ha mantenido en los límites que establece la norma pero existe una tendencia al incremento de eventos por arriba de los 25 IMECAS, que aunque no ponen en riesgo a la población si debe considerarse.

AÑO		IMECAS	EVENTOS
primavera	2002	verde	815
	2002	amarillo	1138
	2002	naranja	247
	2002	rojo	19
	2002	violeta	8
	2003	verde	804
	2003	amarillo	1097
	2003	naranja	297
	2003	rojo	26
	2003	violeta	4
	2004	verde	1425
	2004	amarillo	698
	2004	naranja	96
	2004	rojo	6
	2004	violeta	2
	2005	verde	1111
	2005	amarillo	1023
	2005	naranja	93
	2006	verde	1185
	2006	amarillo	980
	2006	naranja	52
	2006	rojo	6
	2006	violeta	4
	2007	verde	586
	2007	amarillo	502
	2007	naranja	400
	2007	rojo	295
	2007	violeta	444

AÑO		IMECAS	EVENTOS
verano	2002	verde	1470
	2002	amarillo	725
	2002	naranja	50
	2002	rojo	1
	2002	violeta	1
	2003	verde	1745
	2003	amarillo	463
	2003	naranja	37
	2003	rojo	1
	2003	violeta	1
	2004	verde	1664
	2004	amarillo	543
	2004	naranja	32
	2004	rojo	2
	2004	violeta	7
	2005	verde	1103
	2005	amarillo	1052
	2005	naranja	93
	2006	verde	1911
	2006	amarillo	332
	2006	naranja	5
	2007	verde	1032
	2007	amarillo	521
	2007	naranja	270
	2007	rojo	127
	2007	violeta	297

**Tabla 6.1.2.a. Registro de IMECAS en las estaciones de primavera y verano.**

En la tabla, se muestra el número de eventos registrados para los IMECAS, de acuerdo a las categorías establecidas en la norma que determina los niveles de peligrosidad: verde, amarillo, naranja, rojo y violeta.

	AÑO	IMECAS	EVENTOS
otoño	2002	verde	1154
	2002	amarillo	719
	2002	naranja	232
	2002	rojo	43
	2002	violeta	8
	2003	verde	1223
	2003	amarillo	674
	2003	naranja	206
	2003	rojo	43
	2003	violeta	10
	2004	verde	1067
	2004	amarillo	776
	2004	naranja	261
	2004	rojo	37
	2004	violeta	14
	2005	verde	877
	2005	amarillo	1081
	2005	naranja	177
	2005	rojo	16
	2005	violeta	4
	2006	verde	1654
	2006	amarillo	459
	2006	naranja	41
	2006	rojo	1
2007	verde	710	
2007	amarillo	291	
2007	naranja	192	
2007	rojo	195	
2007	violeta	768	

	AÑO	IMECAS	EVENTOS
invierno	2002	verde	833
	2002	amarillo	899
	2002	naranja	332
	2002	rojo	57
	2002	violeta	9
	2003	verde	582
	2003	amarillo	945
	2003	naranja	504
	2003	rojo	85
	2003	violeta	13
	2004	verde	1017
	2004	amarillo	830
	2004	naranja	253
	2004	rojo	43
	2004	violeta	11
	2005	verde	902
	2005	amarillo	989
	2005	naranja	207
	2005	rojo	25
	2005	violeta	7
	2006	verde	674
	2006	amarillo	1131
	2006	naranja	264
	2006	rojo	51
2006	violeta	10	
2007	verde	1520	
2007	amarillo	365	
2007	naranja	85	
2007	rojo	41	
2007	violeta	119	

**Tabla 6.1.2.b. Registro de IMECAS en las estaciones de otoño e invierno.**

En la tabla, se muestra el número de eventos registrados para los IMECAS, de acuerdo a las categorías establecidas en la norma que determina los niveles de peligrosidad: verde, amarillo, naranja, rojo y violeta.

## 6.2. Variables climáticas

Los registros muestran que para esta zona, la temperatura en el periodo estudiado, arrojó lo siguiente: mínima de 2.5°C, máxima de 30.4°C y promedio 17.6°C.

Como se puede apreciar en las tablas 6.2.1.a y 6.2.1.b, en el año 2005 se registraron temperaturas superiores a la temperatura promedio para cada una de las estaciones del año.

También en el año 2005 se registró el mayor número de eventos con estas temperaturas.

	AÑO	TMP_MIN	TMP_PROM	TMP_MAX
PRIMAVERA	2002	7.39	19.41	29.47
	2003	5.8	19.97	29.7
	2004	9	18.26	27.7
	2005			
	2006	9	19.28	30.4
	2007	9.5	19.31	29.4
	promedio	9.2	19.5	29.3
VERANO	2002	10.39	18.33	25.86
	2003	11.2	18.25	26.6
	2004	10.5	18.22	25.7
	2005			
	2006	10.8	18.41	27.2
	2007	10.4	18.11	26.3
	promedio	10.8	18.3	26.3
OTOÑO	2002	3.62	15.92	25.33
	2003	2.5	16.03	24.3
	2004	5.1	16.29	26.2
	2005			
	2006	2.8	16.48	27.2
	2007	5	16.17	26.7
	promedio	4.3	16.3	26.2
INVIERNO	2002	4.64	15.73	27.54
	2003	4	15.97	29.8
	2004	2.6	15.31	27.7
	2005			
	2006	2.9	16.05	29
	2007	6.4	16.74	28.4
	promedio	4.2	16.1	28.4

	AÑO	EVENTOS
Temperatura mayor al promedio	PRIMAVERA	
	2002	1317
	2003	1467
	2004	1130
	2005	
	2006	1301
	2007	1306
	VERANO	
	2002	1129
	2003	1125
	2004	1106
	2005	
	2006	1133
	2007	1055
OTOÑO		
2002	764	
2003	811	
2004	836	
2005		
2006	851	
2007	838	
INVIERNO		
2002	793	
2003	847	
2004	747	
2005		
2006	858	
2007	931	

**Tabla 6.2.1 Registro de temperatura promedio de los años 2002 a 2007.**

La tabla muestra la temperatura promedio en las estaciones del año así como el número de eventos en los que se han registrado temperaturas superiores al promedio.

Como se puede apreciar en la tabla 6.2.2, existe una tendencia al aumento de los días secos consecutivos, así como de los días de verano y por el contrario, existe una tendencia decreciente de los días húmedos consecutivos, la precipitación total, los días con lluvia mayores a 10 mm y mayores a 20mm. De esto, quizá el dato más significativo es la tendencia a la baja de la precipitación total, que en el periodo de estudio disminuyó aproximadamente en un 50%.

	días secos consecutivos	días húmedos consecutivos	precipitación total	días con lluvia mayores a 10 mm	días con lluvia mayores a 20 mm	días de verano
año	cdd	cwd	preptot	R10	R20	su
2002	42	9	1818.3	28	14	83
2003	37	9	4373.6	51	33	92
2004	31	7	919.3	27	17	48
2005	137	4	451.6	15	2	166
2006	135	6	857.8	28	12	116
2007	68	5	947.7	31	20	124

**Tabla 6.2.2.Registro de variables climáticas.**

La tabla muestra el registro del número de días secos consecutivos, días húmedos consecutivos, la precipitación total registrada, días con lluvia y los días de verano.

Como se observa en la tabla 6.2.3, tomando como base el año 2002, existe una tendencia a la baja en la frecuencia de días frescos.

año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
2002	22.58	32.14	9.68	13.33	6.45	6.67	9.68	6.45	26.67	3.23	33.33	16.13	15.34
2003	1.56	0.99	1.67	0.23	0.22	2.64	2.67	1.67	2.53	3.34	2.18	3.67	1.96
2004	3.34	4.88	5.01	7.47	5.01	2.53	1.56	0.78	1.95	2.11	0.11	1.45	3.01
2005	0.67	0.25	0	0	0	0.69	0	1.56	0	1.22	0.34	0.33	0.43
2006	0.33	0.74	1	0	1.33	0.8	1.56	2.11	0.69	0.22	3.22	1.33	1.11
2007	3.23	0	12.9	13.33	9.68	3.33	9.68	6.45	16.67	0	6.67	6.45	7.4

**Tabla 6.2.3. TX10p-Frecuencia de días frescos.**

La tabla muestra la frecuencia mensual y anual de días frescos de los años 2002 a 2007.

En la tabla 6.2.4, se observa la disminución de las noches cálidas, sobre todo en el segundo semestre del año, lo que significa que por la noche se registran temperaturas más bajas y por el día se alcanzan con mayor frecuencia las temperaturas promedio más altas.

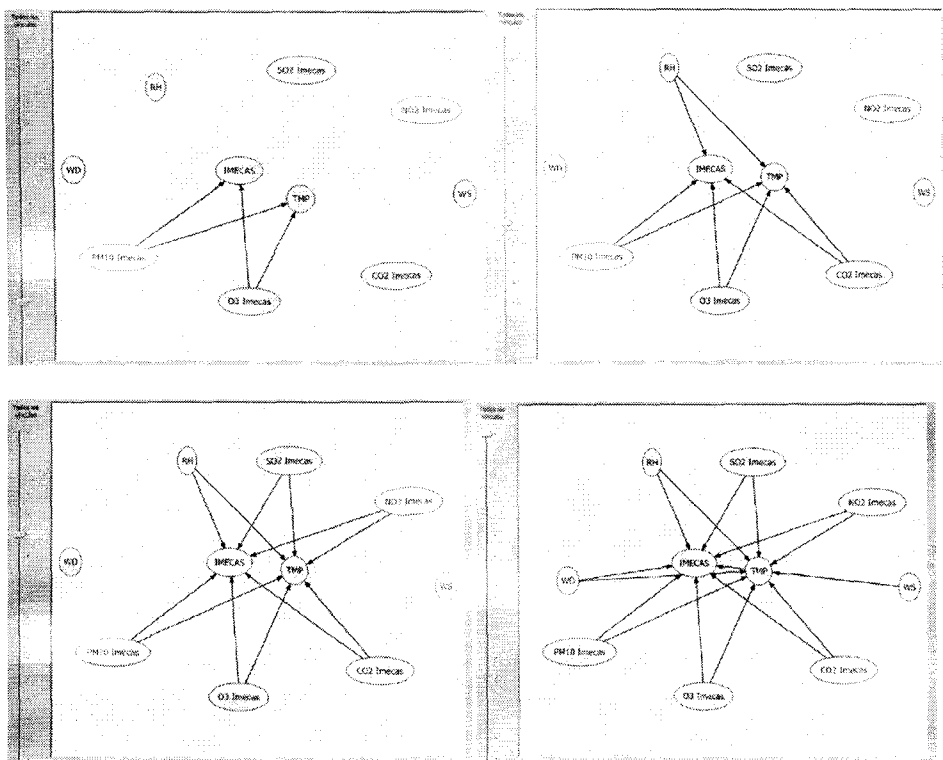
año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
2002	6.45	10.71	0	0	0	3.33	3.23	6.45	33.33	9.68	20	12.9	8.77
2003	2.11	1.35	0	0	1.33	1.38	1	0.67	1.49	1.33	1.72	0.89	1.11
2004	1.89	0.83	0	0	0.67	0	0.33	0.33	1.03	0.22	0.34	0.67	0.53
2005	0.33	3.82	10.34	10.34	7.12	5.75	2.45	2.34	0.57	1.33	0.57	3.56	4.04
2006	0.89	0.37	0	0	0	0.23	0.89	1.78	2.64	3.11	3.1	1.22	1.19
2007	22.58	10.71	0	0	0	3.33	9.68	3.23	6.67	0	10	3.23	5.75

**Tabla 6.2.4. Tn90P-Frecuencia de noches cálidas.**

La tabla muestra la frecuencia mensual y anual de las noches cálidas de los años 2002 a 2007.

### 6.3. Calidad del aire y variables climáticas

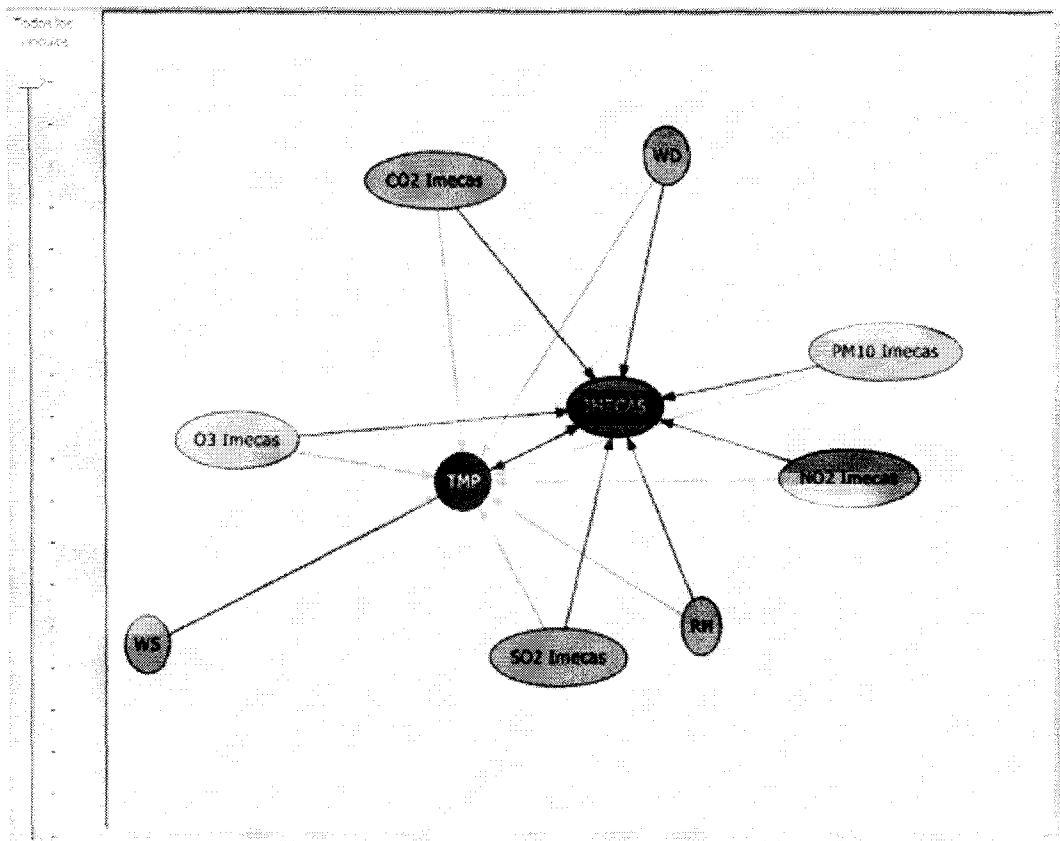
Como se muestra en la figura 6.3.1, se analizaron los datos para poder identificar un patrón y se encontró que la calidad del aire dada en IMECAS, se encuentra determinada principalmente por las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $O_3$ . Se encontró también que la temperatura se encuentra influenciada por estas mismas concentraciones y que las variables que determinan la calidad del aire se encuentran relacionadas con las variables climáticas. En la misma figura se puede apreciar que la relación más fuerte se encuentra entre las variables  $PM_{10}$ ,  $O_3$ , IMECAS y temperatura, a la que con menos fuerza se incorpora la humedad relativa y el  $CO_2$ , seguido de  $SO_2$  y  $NO_2$  y finalmente las características del viento.



**Figura 6.3.1 Representación gráfica de la relación entre contaminantes y variables climáticas**

La figura muestra cómo se van relacionando cada una de las variables, desde las relaciones más fuertes hasta las más débiles.

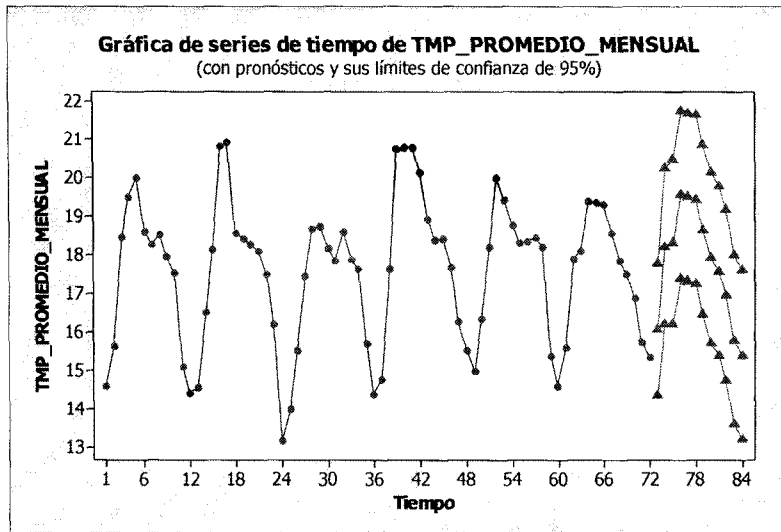
Para estimar los valores futuros de las variables en función del comportamiento pasado, así como para generar diferentes escenarios, se generó un modelo dinámico parametrizable como se muestra en la figura 6.3.2. En este modelo, al seleccionar una variable, se muestra qué variables la predicen, y también para la variable elegida qué otras variables predice.



**Figura 6.3.2 Modelo de predicción.**

Al seleccionar una variable, en este caso la variable IMECAS, se muestran en color naranja qué otras variables la predicen y en color violeta las que se predicen en ambos sentidos.

Finalmente, se generó un conjunto de datos de aprendizaje y otro conjunto de pruebas, posteriormente mediante la ejecución de los algoritmos para series de tiempo se generaron predicciones para las variables consideradas en el modelo como se muestra en la figura 6.3.3.



**Figura 6.3.3 Pronóstico para la temperatura promedio mensual.**

La gráfica muestra el pronóstico para la temperatura promedio mensual para el año 2008.

# CAPITULO 7

## **Conclusiones**

## **Conclusiones**

Ante la necesidad de mejorar el entendimiento de las implicaciones del cambio climático en la zona sur del valle de Puebla, y para fortalecer la capacidad adaptativa ante los cambios inevitables de nuestro planeta, se analizaron los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos en base a la normatividad federal de nuestro país, alineados a estándares internacionales y se calcularon los índices de cambio climático establecidos por el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático de la Organización Mundial de Meteorología, el Proyecto de Variabilidad Climática y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima.

Considerando lo anterior, los resultados muestran una relación muy fuerte entre la calidad del aire y las variables climáticas, también muestran que la calidad del aire respecto de los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos, se encuentra determinada básicamente por la presencia de  $PM_{10}$  y  $O_3$ .

Por otro lado, se observan eventos que no cumplen con la normatividad establecida. Estos eventos se presentan principalmente en las estaciones de primavera e invierno, en donde los IMECAS superan los 101 puntos que representan calidad del aire “mala”, “muy mala” y “extremadamente mala”.

Respecto a las variables climáticas, en particular a la temperatura y la humedad relativa, no podemos afirmar que existe un incremento considerable en los promedios que se ha venido registrando a través del tiempo, sin embargo, los resultados muestran un incremento de eventos en los que tienden a ser más extremos por periodos cortos.

Respecto a la precipitación, los resultados muestran tendencia al incremento de eventos extremos.

Finalmente el año más extremo fue el 2005 ya que en este año se reportó el mayor número de eventos en los que las temperaturas estuvieron por arriba del promedio.

Es oportuno mencionar que como aportación derivada de este trabajo de investigación no sólo se encuentra el conocimiento adquirido a partir de los datos, también queda un conjunto de herramientas y procesos que permitirán continuar con la investigación del fenómeno del cambio climático en cualquier zona o región del estado de Puebla o de otro estado de la república.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abril, J.C. (2006). Modelos para el análisis de las series de tiempo. Universidad Nacional de Tucumán Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina.

Aguilar, A. G. (2006). Los asentamientos humanos y el cambio climático en México un escenario futuro de vulnerabilidad regional. Instituto de Geografía, UNAMago, 2006.

Álamo, V.F. & García, S.M. (2007). El proceso estratégico en el sector público: Análisis en el contexto de las universidades españolas. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa Vol. 13 N°2, 2007, pp 113-129 ISSN:1135-2523

Alem, N., Luján, M. & Bascopé, D. (2005). Impacto de la Contaminación del Aire en Enfermedades Respiratorias Atendidas en el Centro Pediátrico Albina Patiño. ACTA NOVA; Vol. 3, N°1, junio 2005.

Armijo, M. (2011). Planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. CEPAL, ONU. Jun, 2011. ISSN:1680-886X

Arrollo, P. O. & Ruiz, R. M. (2009). Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire. 2° Encuentro de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria y Agroindustrial en el estado de Puebla.

Ayuntamiento del Municipio de Puebla. (2009). Sistema Municipal de Información Ambiental, Estaciones de monitoreo en el Municipio de Puebla.

Barton, R. J. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. Revista de Geografía Norte Grande, 43: 5-30. Tema central: medio ambiente urbano. Enero 2009.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. & Palutikof, J.P. (2008). Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp. ISBN: 978-92-9169-123-4

Bouman, R. & Dongen, J. V. (2006). Pentaho Solutions Business Intelligence and Data Warehousing with Pentaho and MySQL. Wiley Publishing, Inc. 2006. ISBN: 978-0-470-48432-6

Bryson, J.M. (2010). Strategic Planning for Public and Nonprofit Organizations. Nov, 2010.

Caballero, M., Lozano, G. S., Vázquez, S. L. & Ortega, B. (2010). Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana; Volumen 62, No. 3, 2010. Mayo 2010.

Calzada, C. L. & Abreu, J.L. (2009). The impact of business intelligence tools in executive business decisions. Daena: International Journal of Good Conscience. 4(2) : 16-52. Sep, 2009. ISSN 1870-557X

Cámara de Diputados del H. Congreso de La Unión. (2012). Ley General De Cambio Climático. Nueva Ley Diario Oficial de la Federación 06-06-2012.

- Campen, M. J., Lund, A. K, Doyle Eisele, M. L., McDonald, J. D., Knuckles, T. L., Rohr, A.C., Knipping, E. M. & Mauderly, J.L. (2010). A Comparison of Vascular Effects from Complex and Individual Air Pollutants Indicates a Role for Monoxide Gases and Volatile Hydrocarbons.Environmental Health Perspectives; VOLUME 118 NUMBER 7 May 2010.
- Cano, J.L. (2007). Business Intelligence: Competir con Información.Banesto, Fundación Cultural. 2007.Depósito Legal: M-41185-2007
- Castillejos, M. (2006). Estudios de los efectos de la salud causados por contaminación del aire en la ciudad de México.Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco,Gobierno del Distrito Federal,Semarnat.
- Castillo, P.N. & Ezpinoza, T.B. (2009). Análisis e interpretación de la información histórica del clima en el estado Puebla por medio de los programas Rclimdex y Rhtest .SEMARNAT, IMTA. Noviembre 2009.
- Cavazos, T. & Rivas, D. (2007). Precipitation variability in Tijuana, México: intraseasonal to decadal.Depto. de Oceanografía, CICESE.
- CEPAL & PNUD. (2008). Energía, desarrollo industrial, contaminación del aire/atmósfera y cambio climático en la región de América Latina y el caribe: Nuevas políticas, lecciones, mejores prácticas y oportunidades de cooperación horizontal.
- CICC. (2007). Estrategia Nacional de Cambio Climático.Mayo 2007.ISBN:968-817-837-3.
- CONAFOR & Semarnat. (2010). Visión de México sobre Redd+ hacia una estrategia nacional.
- Conde, C. (2007). México y el cambio climático global. Semarnat, UNAM, 2007.ISBN 978-968-817-868-3.
- Correa, G. A., Muñoz, C. R. & García, C. G. (2008). Análisis de ozono y oxidos de nitrógeno mediante técnicas de series de tiempo y regresión lineal. Semarnat, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.
- Fetzek, S. (2009). Impactos Relacionados con el Clima en la Seguridad Nacional en México y Centroamérica.RUSI, CCAD, FUNDAECO.
- García, J. C. (2007). Predicción del máximo de Ozono utilizando metodología ARIMA sobre los datos monitorizados de calidad del aire de Valladolid.Servicio de Medio Ambiente. Ayuntamiento de Valladolid.
- Gary, H. & Välikangas, L. (2003). En busca de la resiliencia.Harvard Business School Publishing Corporation.
- GEP. (2011). Sexto Informe de Gobierno, Eje 5, Desarrollo regional Sustentable.
- Gómez, L. C. (2011). Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana.Departamento de Economía y Finanzas, Universidad de Guanajuato, México, Revista Fuente Año 3 No. 9 octubre- diciembre 2011. ISSN 2007 - 0713.
- González, C. M. (2009). Análisis de series temporales: Modelos ARIMA.Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Universidad del País Vasco (UPV-EHU). Abril, 2009.ISBN: 978-84-692-3814-1.

Greenpeace México. (2010). México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación.

Ibarrarán, V. M. & Rodríguez S. M. (2007). Estudio sobre Economía del Cambio Climático en México. INE, UIA-Puebla. Noviembre 2007.

INE & Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia. (2005). Aspectos metodológicos del inventario nacional de gases de efecto invernadero INEGI 2002. Junio 2005.

Inmon, W.H., Bonnie, O. & Fryman, L. (2008). Business Metadata Capturing Enterprise Knowledge. Elsevier Inc. ISBN: 978-0-12-373726-7

IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs. ISBN 92-9169-322-7.

IPCC. (2010). IPCC Expert Meeting on Detection and Attribution Related to Anthropogenic Climate Change. ISBN 978-92-9169-127-5.

Izquierdo, M. S., Pajares, G. J. & Hernández, I. C. (2006). Predicción de procesos ARMA mediante modelos autorregresivos y en el espacio de estados. X Congreso de Ingeniería de Organización Valenciak.

Jaramillo, A. M., González, G. D., Nuñez, C. M., Portilla, G.E., Lucio, G. H. (2007). Análisis de series de tiempo univariante aplicando metodología de Box-Jenkins para la predicción de ozono en la ciudad de Cali, Colombia. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. ISSN: 0120-6230

Jáuregui, O. E. (2007). La climatología urbana en los trópicos. Desarrollo y perspectivas. Publicaciones Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

Joan, E. R. (2009). Business Model: The Missing Link in Strategic Management. Universia Business Review. ISSN: 1698-5117

Karl, T. R., Nicholls, N. & Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes - Workshop summary. Climatic Change.

Konidari, P. & Mavrakis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. Elsevier Inc.

March, I.J., Carvajal, M.A. & Vidal, R.M. (2009). Planificación y desarrollo de estrategias para la conservación de la biodiversidad. CONABIO, México.

Martínez, F. J. (2011). Focus on Institutional Capacity Development. Talleres de los grupos de metas y soluciones de las Américas rumbo al VI foro mundial del agua, SEMARNAT.

Martínez, J. & Fernández, A. (2004). Cambio climático: una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Nov, 2004. ISBN 968-817-704-0

McConnell, R., Berhane, K., Yao, L., Jerrett, M., Lurmann, F., Gilliland, F., Künzli, N., Gauderman, J., Avol, E., Thomas, D. & Peters, J. (2006). Traffic, Susceptibility, and Childhood Asthma. *Environmental Health Perspectives*; VOLUME 114 NUMBER 5.

Meek, C., Chickering, D. M. & Heckerman, D. (2008). *Autoregressive Tree Models for Time-Series Analysis*.

Michalewicz, Z., Schmidt, M., Michalewicz, M. & Chiriach, C. (2007). *Adaptive Business Intelligence*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN-13, 978-3-540-32928-2 Springer Berlin Heidelberg New York

Molina, L. T. & Molina, M.J. (2006). Air quality in the Mexico megacity. An integrated assessment. Dordrecht-Boston-Londres: Kluwer Academic Publishers, *Revista eure* (Vol. XXXII, Nº 96).

Muñoz, F. & Sá Carvalho, M. (2009). Effect of exposure time to PM10 on emergency admissions for acute bronchitis. ARTIGO.

Naciones Unidas. (1992). CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS, 1992 SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. GE.05-62301 (S) 220705 220705

Naciones Unidas. (2000). Declaración del milenio. A/RES/55/2. 13 sep 2000.

OSE (2007). Calidad del aire en ciudades. Clave de sostenibilidad urbana. *Ambienta*. abril, 2008.

OMM (2007). Plan Estratégico de la OMM. may, 2007. ISBN: 92-63-31028-9

Peña, A. A. (2006). *Inteligencia de Negocios: Una Propuesta para su Desarrollo en las Organizaciones*. Instituto Politécnico Nacional Dirección de Publicaciones, México, D.F. 2006. ISBN: 970-94797-1-7 # 001.

Peterson, T. C. (2005). *Climate Change Indices*. WMO Bulletin, 54.

PNUMA & OMM. (1997). *Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad*. ISBN 92-9169-310-3.

PNUMA & ORPALC. (2005). *Proyecto de ciudadanía ambiental global*. ISBN 968-7913-38-X

PNUMA, Red Mercosur & CENIT. (2011). *Eficiencia en el uso de los recursos en América Latina: Perspectivas e implicancias económicas*. ISBN: 978-92-807-3121-7

Presidencia de la República Mexicana & CICC. (2009). *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*. Diario Oficial de la Federación edición vespertina. DOF 28/08/2009

Presidencia de la República Mexicana. (2006). *Eje 4. Sustentabilidad ambiental, PND México, 2006-2012*.

Presidencia de la República Mexicana. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo. Apartado Calidad del Aire*.

Puga, M. J. (2012). *Puebla, la cuarta zona metropolitana más contaminada*: Instituto Nacional de Ecología. La Jornada de Oriente. ene, 2012.

- Ralph, J. D., Gillen, D. L., Tjoa, T., Staimer, N., Polidori, A., Arhami, M., Sioutas, C. & Longhurst, J. (2011). Electrocardiographic ST-Segment Depression and Exposure to Traffic Related Aerosols in Elderly Subjects with Coronary Artery Disease. *Environmental Health Perspectives*; volume 119 number 2 February 2011.
- Saffo, P. (2007). Six rules for effective forecasting. *Harvard Business Review*.
- Sánchez, G. R. & Nájera, C. C. (2007). Análisis de tendencia temporal utilizando variables indicadoras en los contaminantes que exceden con más frecuencia la norma (o<sub>3</sub> y PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Guadalajara Jalisco. *Pub. Depto. de Matemáticas, CUCEI, Universidad de Guadalajara, Depto. de Física, CUCEI, Universidad de Guadalajara*.
- Sánchez, P.R., Gamboa, O. & Díaz, J.A. (2008). Modelos empleados para la Toma de Decisiones en el Cuidado de la Salud. *Revista de Salud Pública, Vol.10, Núm. 1, febrero, 2008, pp. 178-188*ISSN:0124-0064.
- Sarnat, S. E., Coull, B. A., Schwartz, J., Gold, D. R. & Suh, H.H. (2006). Factors Affecting the Association between Ambient Concentrations and Personal Exposures to Particles and Gases. *Environmental Health Perspectives; VOLUME 114 NUMBER 5 May 2006*.
- Semarnat & GEP-SMRN. (2006). Programa de Gestión de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla 2006-2011.
- Semarnat. (2008). Estrategia de México ante el Cambio Climático Global.
- Semarnat. (2009) .Semarnat. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. México. ISBN 978-968-817-925-3
- Semarnat. (2011). Semarnat. El ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. México. ISBN 978-607-7908-41-8.
- Semarnat.(2011). Resultado de la evaluación PROAIRE Puebla 2006-2011.
- Servicios de Investigación y Análisis. Subdirección de Política Exterior. (2007). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP).
- Shim, J.P., Merrill, W., Courtney, J.F., Power, D.J., Ramesh, S. & Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *ELSEVIER, Decision Support Systems*.
- Shivam, T., Srinivas V. & Nanjundiah, R. S. (2006). Downscaling of precipitation for climate change scenarios: A support vector machine approach. *Journal of Hydrology*.
- Stern, N. (2007). El Informe Stern. La verdad del cambio climático. Ediciones Paidós Ibérica. ISBN:98-84-493-2032-
- Stern, N. (2010). La economía del cambio climático en América Latina. COP16, United Nations Climate Change Conference.
- Tereshchenko, I.E., Figueroa, A.M. & Filonov, A.E. (2007). Variabilidad espacio-temporal de los parámetros meteorológicos y contaminantes en Guadalajara, México. *Pub. Depto. de Física, Universidad de Guadalajara*.

- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters, G. A. & Frank, J.M. (2010). Climate change and food safety: A review.Elsevier Inc.
- Townsend, P. A., Sanchez, C. V., Soberon, J., Bartley, J., Buddemeier, R.W. & Navarro S. A. (2008). Effects of global climate change on geographic distributions of Mexican Cracidae.Ecological Modelling 144 (2001) 21–30.
- UNEP. (2011). Boletín del PNUMA América Latina y el Caribenov.
- Villa, G.D., Escalona, A. F., Paniagua, C.V. & Bañuelos, Q. V. (2007). Resultados preliminares del monitoreo de partículas suspendidas PM10. Pub. Unidad Académica de Ciencias Químicas, UAZ, Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas.
- Washam, C. (2011). Separating People from Pollution Individual and Community Interventions to Mitigate Health Effects of Air Pollutants.Environmental Health Perspectives; Volume 119 number 1 January 2011. Environmental Health Perspectives
- Wen, Y. Z., Wei, D. G., Li, Q. F., Chang, P. L., Peng, B., Gregory, E. G., Jia, F. J., Shan, H. S., Quan, Q., Wei L., Lei, Y., Hong Y., Shi, L. T., & Wu, C. C. (2010). Climate Variability and Hemorrhagic Fever with Renal Syndrome Transmission in Northeastern China.Environmental Health Perspectives; VOLUME 118 NUMBER 7 May 2010.
- Woodruff, T. J., Parker, J. D. & Schoendorf, K.C. (2006). Fine Particulate Matter (PM2.5) Air Pollution and Selected Causes of Postneonatal Infant Mortality in California.Environmental Health Perspectives; VOLUME 114 NUMBER 5 May 2006.
- Yáñez, O. J. (2008). La importancia de los DSS en la competitividad de las empresas.Revista Digital Universitaria. ISSN:1067-6079.
- Zhang, X. & Yang, F., 2004: RCLimdex (1.0) User Manual. Climate Research Branch, Environment Canada.