

**UF1910: Manejo de equipos de depuración  
y control de emisiones atmosféricas**

Elaborado por: Sergio Lopez del Pino  
Sonia Martín Calderón  
María Huertas Marín Ibarra

Edición: 5.0

**EDITORIAL ELEARNING S.L.**

ISBN: 978-84-16424-19-1 • Depósito legal: MA 456-2015

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquiera de sus formas gráficas o audiovisuales sin la autorización previa y por escrito de los titulares del depósito legal.

Impreso en España - Printed in Spain

# Presentación

## Identificación de la Unidad Formativa

Bienvenido a la Unidad Formativa **UF1910: Manejo de equipos de depuración y control de emisiones atmosféricas**. Esta Unidad Formativa pertenece al Módulo Formativo **MF1616\_3: Depuración y control de emisiones a la atmósfera** que forma parte del Certificado de Profesionalidad **SEAG0111: Control de la contaminación atmosférica**, de la familia de **Seguridad y Medio Ambiente**.

## Presentación de los contenidos

La finalidad de esta Unidad Formativa es enseñar al alumno a realizar operaciones de puesta en marcha y funcionamiento de los sistemas de depuración y/o control de emisiones atmosféricas, tomar datos y elaborar registros de los sistemas de control y depuración de contaminantes atmosféricos e interpretar los datos obtenidos durante la operación de los sistemas de depuración y control de las emisiones atmosféricas. Para ello, se analizarán en primer lugar los procesos de depuración y control de emisiones atmosféricas, se estudiará la metrología y mecánica básica de equipos de depuración y control de los contaminantes atmosféricos y se mostrará al alumno el manejo de equipos tanto de medida de emisiones atmosféricas y como de depuración y el control de gases y partículas. Para terminar, se profundizará en la gestión de la información asociada a los sistemas de depuración y control de la contaminación atmosférica.

## Objetivos de la Unidad Formativa

Al finalizar esta Unidad Formativa aprenderás a:

- Identificar procesos de depuración y control de emisiones a la atmósfera e instalaciones básicas implicadas.
- Interpretar la secuencia operativa de instalaciones de depuración y control de emisiones en base a las exigencias preestablecidas.
- Describir y aplicar los parámetros de los equipos mecánicos, eléctricos o de medida para el control de las instalaciones de depuración y control de las emisiones atmosféricas.
- Interpretar los datos obtenidos a partir de sistemas de control y depuración de contaminación atmosférica.

# Índice

UD1. Depuración y control de emisiones atmosféricas.....	9
1.1. Sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas.....	11
1.1.1. Identificación de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas.....	25
1.1.2. Descripción de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas.....	27
1.1.3. Clasificación y características de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas.	28
1.1.4. Elementos fundamentales de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas.	33
1.2. Separación de partículas.....	34
1.2.1. Separación de partículas por gravedad .....	55
1.2.2. Separación de partículas por inercia .....	61
1.2.3. Separación de partículas por fuerza centrífuga.....	62
1.2.4. Separación de partículas por intercepción.....	63
1.2.5. Separación de partículas por precipitación electrostática	65
1.2.6. Separación de partículas por difusión browniana .....	66
1.2.7. Separación de partículas por deposición ultrasónica....	67
1.3. Equipos de separación de partículas secos .....	69

1.3.1. Colectores inerciales. Ciclones .....	71
1.3.2. Filtros .....	77
1.3.3. Separadores electrostáticos .....	83
1.3.4. Otros .....	87
1.4. Equipos de separación de partículas húmedos .....	89
1.4.1. Lavadores .....	91
1.4.2. Torres de relleno .....	95
1.4.3. Otros .....	97
1.5. Control de gases .....	99
1.5.1. Separación de gases: absorción o lavado, adsorción .....	104
1.5.2. Métodos de depuración: por combustión, por reducción catalítica y no catalítica .....	108
1.5.3. Fases del proceso de depuración .....	116
1.6. Sensores y equipos de medida .....	118
1.6.1. Identificación .....	119
1.6.2. Características .....	120
1.6.3. Verificación .....	121
1.7. Gestión interna .....	123
<b>UD2. Metrología y mecánica básica de equipos de depuración y control de los contaminantes atmosféricos .....</b>	<b>133</b>
2.1. Máquinas .....	135
2.2. Herramientas .....	157
2.3. Montajes mecánicos .....	172
2.4. Variables .....	195
2.5. Valores de referencia .....	202
<b>UD3. Manejo de equipos de medida de emisiones atmosféricas .....</b>	<b>213</b>
3.1. Captadores de alto y bajo volumen .....	215
3.2. Equipos isocinéticos .....	251
3.3. Analizadores dotados de sensores electroquímicos .....	259
3.4. Bombas opacimétricas .....	263

# Índice

3.5. Analizadores de ionización a la llama.....	265
3.6. Equipos de análisis "in situ" .....	268
3.7. Bombas de caudal constante.....	271
<b>UD4. Manejo de equipos para la depuración y el control de gases .....</b>	<b>285</b>
4.1. Lavadores de gases .....	287
4.1.1. Funcionamiento .....	292
4.1.2. Ajuste .....	302
4.2. Torres de adsorción de gases .....	315
4.2.1. Funcionamiento .....	317
4.2.2. Ajuste .....	326
4.3. Equipos de combustión .....	331
4.3.1. Funcionamiento .....	333
4.3.2. Ajuste .....	341
4.4. Equipos de reducción .....	342
4.4.1. Funcionamiento .....	344
4.4.2. Ajuste .....	348
<b>UD5. Manejo de equipos para la depuración y el control de partículas .....</b>	<b>359</b>
5.1. Equipos de depuración y control de partículas .....	361
5.2. Colectores inerciales.....	372
5.3. Ciclones .....	376
5.3.1. Funcionamiento .....	378
5.3.2. Ajuste .....	380
5.4. Filtros .....	386
5.5. Separadores electrostáticos .....	391
5.5.1. Funcionamiento .....	393
5.5.2. Ajustes .....	397
5.6. Lavadores .....	400
5.6.1. Funcionamiento y manejo .....	401
5.6.2. Calibración .....	406

5.7. Torres de relleno .....	407
5.7.1. Funcionamiento y manejo .....	408
5.7.2. Calibración .....	410
<b>UD6. Gestión de la información asociada a los sistemas de depuración y control de la contaminación atmosférica .</b>	<b>421</b>
6.1. Parámetros representativos de las operaciones de depuración y control .....	423
6.2. Registros .....	424
6.2.1. Tipos .....	428
6.2.2. Cumplimentación .....	430
6.3. Análisis de situaciones de funcionamiento normal /anómalo	431
6.4. Valores de referencia.....	433
6.5. Sistemas de almacenamiento de datos .....	436
6.5.1. Características .....	438
6.5.2. Funcionamiento .....	444
6.6. Tratamiento de los datos .....	445
6.6.1. Análisis estadísticos básicos.....	447
6.6.2. Representación gráfica del análisis estadístico.....	451
6.7. Redacción de informes y presentación de datos .....	454
6.7.1. Modelos .....	456
6.8. Sistemas de transmisión de la información .....	457
6.8.1. Características .....	459
6.8.2. Funcionamiento .....	461
<b>Glosario .....</b>	<b>471</b>
<b>Soluciones .....</b>	<b>475</b>

# UD1

Depuración y control de  
emisiones atmosféricas

- 1.1. Sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas
  - 1.1.1. Identificación de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas
  - 1.1.2. Descripción de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas
  - 1.1.3. Clasificación y características de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas
  - 1.1.4. Elementos fundamentales de los sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas
- 1.2. Separación de partículas
  - 1.2.1. Separación de partículas por gravedad
  - 1.2.2. Separación de partículas por inercia
  - 1.2.3. Separación de partículas por fuerza centrífuga
  - 1.2.4. Separación de partículas por intercepción
  - 1.2.5. Separación de partículas por precipitación electrostática
  - 1.2.6. Separación de partículas por difusión browniana
  - 1.2.7. Separación de partículas por deposición ultrasónica
- 1.3. Equipos de separación de partículas secos
  - 1.3.1. Colectores iniciales. Ciclones
  - 1.3.2. Filtros
  - 1.3.3. Separadores electrostáticos
  - 1.3.4. Otros
- 1.4. Equipos de separación de partículas húmedos
  - 1.4.1. Lavadores
  - 1.4.2. Torres de relleno
  - 1.4.3. Otros
- 1.5. Control de gases
  - 1.5.1. Separación de gases: absorción o lavado, adsorción
  - 1.5.2. Métodos de depuración: por combustión, por reducción catalítica y no catalítica
  - 1.5.3. Fases del proceso de depuración
- 1.6. Sensores y equipos de medida
  - 1.6.1. Identificación
  - 1.6.2. Características
  - 1.6.3. Verificación
- 1.7. Gestión interna

## 1.1. Sistemas utilizados para la depuración y control de emisiones atmosféricas

Los equipos de depuración y control de emisiones atmosféricas tienen como objetivo principal prevenir la contaminación atmosférica.

Podríamos definir dicho concepto de contaminación atmosférica como la presencia en el aire de sustancias, partículas o incluso formas de energía que puedan causar daño, molestia o riesgo para los seres vivos y los materiales.

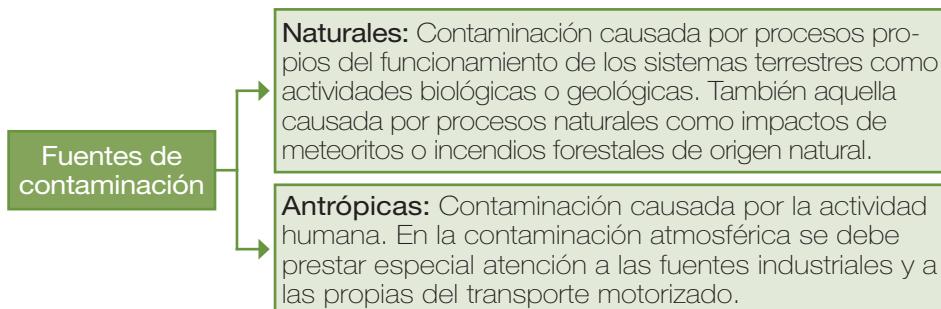
Las sustancias contaminantes pueden aparecer en estado sólido, líquido y gaseoso, hecho que condicionará sus efectos y posibles tratamientos correctores y preventivos.



También hablamos de contaminación atmosférica cuando incide sobre elementos materiales, como edificios o construcciones, o animales, plantas y ecosistemas. Aunque tendemos a pensar siempre en efectos sobre el ser humano, a nivel legal tienen la misma importancia.

---

La contaminación atmosférica, al igual que el resto de contaminaciones, puede tener un origen natural o antrópico.



Para el desarrollo de los contenidos en epígrafes sucesivos nos centraremos en la contaminación antrópica pues resulta inherente a los procesos industriales que deben depurar y controlar sus emisiones.



La contaminación por formas de energía como la radiación puede causar mutaciones y perdurar cientos de años en la atmósfera y aunque es posible que tenga un origen natural lo más común es que tenga un origen antrópico.

Los orígenes de la lucha contra la contaminación atmosférica son relativamente recientes y están íntimamente relacionados con el concepto de contaminación transfronteriza y el derecho internacional. De hecho, la primera vez que se trata esta cuestión fue en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Humano, más conocida como Cumbre de la Tierra de Estocolmo. Tuvo lugar en 1972 y fue el precedente para la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro de 1992.

Los problemas de contaminación atmosférica están íntimamente relacionados con desarrollo industrial y el incremento de producción a nivel mundial que se experimentó durante todo el siglo XX.

La a priori percepción de que los procesos industriales no tenían repercusiones o efectos secundarios sobre los seres vivos, el medioambiente y los propios seres humanos pronto se desveló como falsa. El aumento de contaminación y el empeoramiento de la calidad de vida de aquellas personas que vivían próximas a focos muy industrializados pronto se hizo patente y fue necesario plantear posibles alternativas o soluciones.

En cualquier caso, el nacimiento de la conciencia ambiental, de la necesidad de establecer unos límites al desarrollo industrial que garantizaran un desarrollo sostenible, parte de la propia necesidad del ser humano de supervivencia. La primera preocupación no fue la conservación ambiental sino las condiciones de vida de las personas. Evidentemente, ambas cosas van unidas y de la mano.

A partir de los años setenta del siglo XX, una vez detectado el problema de la contaminación atmosférica y sus efectos, las investigaciones y el desarrollo tecnológico para intentar paliarla han crecido de manera exponencial, buscando la prevención frente a la corrección.

Es muy importante tener en cuenta que siempre son preferibles las medidas preventivas frente a las medidas correctoras. Algo que tradicionalmente se ha resumido en que “es preferible prevenir que curar” se hace mucho más necesario cuando lo que está en juego es la salud de las personas, el futuro de las generaciones venideras y la conservación del medioambiente.



El **desarrollo sostenible, perdurable o desarrollo sustentable** es aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin poner en riesgo las posibilidades de desarrollo de las generaciones futuras.

La **contaminación transfronteriza** es aquella que llega a una determinada zona, área o región pero tiene un origen lejano al desplazarse por el aire. Puesto que la circulación atmosférica es un fenómeno global y planetario la contaminación transfronteriza, al desplazarse, puede afectar incluso a países muy alejados del foco de emisión.

---

El primer incidente de contaminación transfronteriza del que se tiene constancia está relacionado con fuertes episodios de lluvia ácida en los países nórdicos como consecuencia de la llegada de masas de aire contaminadas con óxidos de azufre procedentes de las zonas industriales de Europa central y Gran Bretaña. Esto motivó la celebración de la Cumbre de la Tierra de Estocolmo en 1972.



No es casual que la Cumbre de la Tierra de Estocolmo tuviera lugar en Suecia pues era el primer país en detectar los efectos de la lluvia ácida en su propio territorio como consecuencia de fuentes de contaminación distantes y lejanas.

---

Aunque tradicionalmente las medidas para paliar la contaminación han ido enfocadas principalmente hacia la corrección actualmente se presta más atención a la prevención. Se ha pasado de intentar enmendar los daños causados a buscar las medidas para anticipar la aparición de problemas.

De hecho, resulta muy difícil corregir la contaminación atmosférica una vez producida porque se dispersa por el aire, de ahí que sea más importante todavía su prevención. No obstante, los mecanismos de depuración y control de emisiones atmosféricas que iremos viendo en epígrafes sucesivos tienen como principal objetivo evitar la contaminación en su origen y corregirla si no es posible su prevención.

Este énfasis en la prevención viene también condicionado por la incorporación de España en la Unión Europea pues formar parte de la misma implica el obligado cumplimiento de la normativa comunitaria.

La política ambiental comunitaria establece cuatro principios en materia ambiental de obligado cumplimiento para todos los estados miembros de la unión. El orden y jerarquía de dichos principios no es aleatorio, esto quiere decir que siempre se ha de intentar conseguir el de mayor rango posible.

Estos **principios ambientales comunitarios** son cuatro:

1. **Principio de cautela.** Es llamado también principio de precaución. Supone la adopción de medidas protectoras ante la sospecha de riesgo grave o irreversible para el medio ambiente aunque no exista evidencia científica absoluta de dicho riesgo.
2. **Principio de prevención.** Supone la necesidad de adoptar las medidas necesarias para evitar efectos perjudiciales para el medio ambiente antes de que estos se produzcan.

3. **Principio de corrección.** Supone adoptar las medidas necesarias para paliar los efectos sobre el medio ambiente cuando no ha sido posible la prevención de los mismos.
4. **Principio de quien contamina paga.** Supone que cuando no se puede ni evitar el daño ni corregirlo se ha de compensar económico por los daños causados.



Los procesos productivos y empresariales deben regirse por los cuatro principios ambientales comunitarios, así como por su jerarquía. Esto supone que siempre se ha de actuar de manera cautelosa y preventiva. Las acciones correctivas y, en última instancia, el pago económico por los daños ambientales causados deben ser excepciones puntuales y no la norma general.

Veamos con mayor detenimiento la distinción entre medidas preventivas y medidas correctoras, ya que en ocasiones puede dar lugar a confusión.

Medidas preventivas	<p>Hablamos de medidas preventivas para referirnos a aquellas que intentan anticiparse a la aparición del problema.</p> <p>Como ejemplos podemos citar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación de Impacto Ambiental: medida más eficaz pues supone una planificación desde antes de llevar a cabo cualquier obra o acción que pueda afectar al medio ambiente.</li> <li>• Utilización de tecnologías eficientes y con bajas emisiones de residuos: tecnologías que intentan evitar la contaminación en su origen antes de que se produzca.</li> <li>• Planificación energética eficiente: no olvidemos que los principales problemas de contaminación atmosférica están vinculados con el uso de energías no renovables.</li> </ul>
---------------------	--

Medidas correctoras	<p>Hablamos de medidas correctoras para referirnos a aquellas que se adoptan cuando el daño ambiental ya se ha producido con el fin de resolverlo.</p> <p>Como ejemplos podemos citar:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Retener y concentrar los contaminantes producidos antes de que se produzca su emisión al exterior. Esto requiere de equipos adecuados de depuración y control de emisiones y suele suponer un traspaso de la contaminación a otro medio, generando residuos que deberán ser gestionados de manera idónea. Además, estos equipos suelen consumir recursos naturales y energía para su correcto funcionamiento.</li><li>• Expulsar los contaminantes a través de chimeneas y en condiciones atmosféricas y ambientales adecuadas para facilitar su dispersión y dilución. Aunque estas acciones suelen ser beneficiosas para problemas locales, debido al fenómeno de contaminación transfronteriza puede suponer efectos muy negativos en territorios alejados del foco de contaminación.</li></ul>
---------------------	---

Otro factor muy importante a la hora de estudiar los equipos de depuración y control de emisiones atmosféricas es la distinción entre contaminantes primarios y secundarios.

- **Contaminantes primarios.** Los contaminantes primarios son aquellos que proceden de manera directa de las fuentes de emisión, es decir, son aquellos que se expulsan de manera directa a la atmósfera procedentes de industrias o vehículos motorizados.

#### Ejemplos de contaminantes primarios

<ul style="list-style-type: none"><li>• Partículas</li><li>• Compuestos de azufre</li><li>• Compuestos de nitrógeno</li><li>• Óxidos de carbono</li><li>• Hidrocarburos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Compuestos halogenados</li><li>• Metales pesados</li><li>• Ruido</li><li>• Radiaciones ionizantes</li></ul>
---	---

- **Contaminantes secundarios.** Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman como consecuencia de la interacción entre contaminantes primarios o entre dichos contaminantes primarios y componentes presentes de manera natural en la atmósfera como el vapor de agua y la

radiación solar. Como consecuencia de esta interacción se obtiene un contaminante nuevo que puede ser incluso más peligroso que sus componentes por separado.

### Ejemplos de contaminantes secundarios

- Anhídrido sulfúrico
- Ácido sulfúrico
- $\text{NO}_3$
- Nitrato de peroxiacetileno
- Ozono troposférico

Para la formación de contaminantes secundarios en la atmósfera se precisa de la existencia de contaminantes primarios. Ese es el motivo por el que resulta tan importante evitar la emisión de contaminantes primarios.



Sabías que

Los contaminantes primarios son los principales responsables de la contaminación atmosférica a nivel global.

A pesar de que la presencia de ozono ( $\text{O}_3$ ) en la estratosfera es imprescindible para la vida por constituir la capa de ozono que nos protege de la radiación ultravioleta procedente del sol, en la troposfera es un contaminante muy peligroso.

En la depuración y control de **emisiones** atmosféricas también hay que saber distinguir entre los conceptos de emisión y de inmisión para poder garantizar un correcto funcionamiento de las instalaciones industriales.



Definición

Por **emisión** se entiende la cantidad de contaminante vertida a la atmósfera desde cualquier medio susceptible de hacerlo en un periodo de tiempo determinado. Al lugar que expulsa dicha contaminación atmosférica se le conoce como **foco emisor**.

La cantidad de contaminante expulsado se suele expresar en microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) o en partes por millón (ppm).

Un ejemplo de emisión sería la cantidad de contaminante que sale por una chimenea de una industria dada.



Partes por millón (ppm) es una unidad de medida de concentración. Se relaciona con la cantidad de sustancia que hay presente en cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de almendras, si una de ellas sale amarga esa almendra representa una parte por millón (1 ppm) del conjunto de almendras.

En el caso de las **disoluciones acuosas** una parte por millón (1 ppm) equivale a un miligramo de soluto por cada litro de disolución, es decir, a un microgramo de soluto por cada mililitro.

---

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/ 1 L} = 1 \mu\text{g/ 1 mL}$$

Por **inmisión** se entiende la cantidad de contaminante que llega a una zona determinada una vez transportado y difundido por la atmósfera.

La difusión de contaminantes puede suponer la dilución o la concentración de dichos contaminantes en cada zona.

Los niveles de inmisión determinan los posibles efectos sobre la salud o el medio ambiente de un contaminante y dependerán de

- La cantidad emitida de contaminante emitido.
- De cómo se haya comportado dicha sustancia en la atmósfera.

Un ejemplo de inmisión sería la cantidad de contaminante presente en una calle, una casa o una ciudad dada.

Resulta importante conocer los **factores que influyen en la dinámica de dispersión** de un contaminante para poder prever posibles efectos adversos de un foco emisor y ajustar sus mecanismos de depuración y control de emisiones. Estos factores vienen determinados por:

- Las características industriales.
- Las características de las emisiones.
- Las condiciones atmosféricas.
- Las características geográficas.
- Las características topográficas.

#### **Características industriales:**

- Calidad de combustible empleado.
- Calidad de las materias primas empleadas.
- Tipo de proceso industrial.
- Tecnología empleada.
- Concentración de focos industriales de emisión en una determinada zona.



Hablamos de tecnologías limpias para referirnos a aquellas no producen daños ambientales o los minimizan. Es el empleo de la ciencia para conseguir avances tecnológicos que ayuden a la conservación del medio natural y los recursos no renovables, así como a minimizar los impactos negativos de la actividad antrópica.

---

#### **Características de las emisiones:**

- Naturaleza del contaminante. Los gases perduran más en la atmósfera que las partículas sólidas o líquidas.

- Temperatura de emisión. En el caso de los gases, si la temperatura de emisión es mayor que la temperatura de los gases circundantes el contaminante ascenderá y se facilitará su dispersión. En cambio, si la temperatura de emisión es menor, el contaminante descenderá y se concentrará en las capas bajas de la atmósfera.
- Velocidad de salida del contaminante. Cuanto mayor sea la velocidad de emisión más rápido será su dispersión.
- Altura del foco emisor. A mayor altura más fácil es la dispersión del contaminante.

Lo esencial para evitar la contaminación es impedir la emisión de contaminantes a la atmósfera con mecanismos de depuración y control. Pero si evitar dicha emisión resulta imposible la mejor manera de llevarlo a cabo para favorecer la dispersión en la atmósfera y minimizar sus efectos negativos es emitir a través de chimeneas altas y con una velocidad de salida y una temperatura lo más elevadas posibles.

No olvidemos que conseguir dicho aumento de temperatura y velocidad en la emisión suele tener un coste económico y energético.

### Condiciones atmosféricas

- **Temperatura del aire.** En función de cómo sea la temperatura del aire circundante con relación a la temperatura de emisión se favorecerá o no la dispersión de contaminantes.
- **Variación de la temperatura del aire con la altura.** Lo normal es la disminución de la temperatura con la altura, es decir, al aumentar la altitud la temperatura baja. Esta situación favorece la dispersión de contaminantes. Sin embargo, cuando este patrón se invierte y la temperatura aumenta con la altura, se dificulta la dispersión de contaminantes.
- **Velocidad del viento.** Cuanto mayor sea el viento más fácil es la dispersión de contaminantes.
- **Dirección del viento.** Determina el área hacia donde se pueden dirigir los contaminantes, posibilitando la concentración en dichas zonas.
- **Precipitaciones.** Tienen un efecto de lavado de la atmósfera pues la lluvia, al caer, arrastra partículas y contaminantes hacia el suelo consiguiendo su deposición.
- **Insolación.** La radiación solar permite la formación de contaminantes secundarios.