



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Contaminantes tóxicos atmosféricos análisis de riesgo y su mitigación**

**Informe de Ingeniería para optar el título profesional de Ingeniero  
Agroindustrial**

**AUTORA:**

Janina Miluska Linares Vargas

**ASESOR:**

Ing. M.Sc. Epifanio Efraín Martínez Mena

**Tarapoto – Perú**

**2012**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**Contaminantes tóxicos atmosféricos análisis de riesgo y su mitigación**

**AUTORA:**

Janina Miluska Linares Vargas

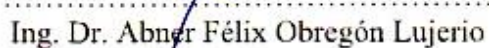
**Sustentada y aprobada el 21 de setiembre del 2012, por el siguiente jurado:**

  
.....  
Ing. Mg. Juan José Salazar Díaz

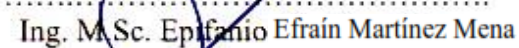
**Presidente**

  
.....  
Ing. M.Sc. Enrique Terleira García

**Secretario**

  
.....  
Ing. Dr. Abner Félix Obregón Lujerio

**Miembro**

  
.....  
Ing. M.Sc. Epifanio Efraín Martínez Mena

**Asesor**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

## FACULTAD DE INGENIERIA AGRO INDUSTRIAL

Jr. Amorarca S/N - Morales, Telefax (042) 524429 - E-mail: fai@unsm.edu.pe  
CIUDAD UNIVERSITARIA - SAN MARTÍN




### ACTA DE SUSTENTACION DE INFORME DE INGENIERÍA PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

En la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, en los ambientes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial - Ciudad Universitaria, a las 19:30 horas del día Viernes veintiuno de setiembre del dos mil doce, se reunió el Jurado de Sustentación del Informe de Ingeniería, integrado por:

**Presidente** : Ing. Mg. Juan José SALAZAR DÍAZ  
**Secretario** : Ing. M. Sc. Enrique TERLEIRA GARCÍA  
**Miembro** : Ing. Dr. Abner Félix OBREGÓN LUJERIO  
**Asesor** : Ing. M. Sc. Epifanio Efraín MARTINEZ MENA

Para evaluar el Informe de Ingeniería: "**CONTAMINANTES TÓXICOS ATMOSFÉRICOS, ANÁLISIS DE RIESGO Y SU MITIGACIÓN**", presentado por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **JANINA MILUSKA LINARES VARGAS**, elaborado bajo la modalidad de Ciclo de Complementación Académica para Titulación de Ingeniero Agroindustrial.

Los Señores Miembros del Jurado, después de haber atendido la sustentación y evaluada las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran... Aprobado ..... por unanimidad con el calificativo de Buena ....., en fe de lo cual se firmó la presente acta, siendo las 21:00 horas del mismo día, con lo que se dio por terminado el acto de sustentación.

  
Ing. Mg. Juan José SALAZAR DÍAZ  
PRESIDENTE

  
Ing. M. Sc. Enrique TERLEIRA GARCÍA  
SECRETARIO

  
Ing. Dr. Abner Félix OBREGÓN LUJERIO  
MIEMBRO

  
Ing. M. Sc. Epifanio Efraín MARTINEZ MENA  
ASESOR

## **Declaratoria de autenticidad**

**Janina Miluska Linares Vargas**, con DNI N° 40362262, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín, autora del Informe de Ingeniería titulada: **Contaminantes tóxicos atmosféricos análisis de riesgo y su mitigación.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 21 de setiembre del 2012.

  
.....  
**Janina Miluska Linares Vargas**  
DNI N° 40362262



## **Dedicatoria**

A mi padre, Jorge Washington Linares Panduro, por estar siempre de mi lado para alcanzar el deseo de concretizar mi aspiración profesional.

A mi hijo Carlos Djorkaed Perea Linares, quien ha sido mi mayor motivación para no rendirme y llegar a ser un ejemplo para él.

**Janina Miluska**

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por su infinita bondad y grandeza por darme la vida, ya que sin él en mi horizonte no habría sido posible conseguirlo.

Agradezco a mi gran amigo JAIO, quien no dudo en demostrarme que nunca es tarde para concluir con nuestras metas.

Agradezco a la Universidad Nacional de San Martín y en especial a los docentes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial quienes gracias a ellos pude formarme como profesional gracias a todas las enseñanzas recibidas.

No puedo dejar de mencionar a mi asesor Ing. M.Sc. Epifanio E. Martínez Mena, quien me brindó su apoyo, tiempo, trabajo y experiencia profesional sin ningún tipo de interés.

## Índice

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo general .....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Medio atmosférico .....	3
2.1.1 El movimiento de la atmosfera .....	5
2.1.2 El ambiente natural.....	7
2.2. Contaminantes tóxicos atmosféricos.....	8
2.2.1 Origen y causas de la contaminación atmosférica.....	9
2.2.2 Clases de contaminación .....	9
2.2.3 Fuentes de contaminantes tóxicos atmosféricos.....	9
2.2.4 Clases de sustancias toxicas atmosféricos .....	10
2.2.5 Contaminantes atmosféricos más frecuentes y sus efectos.....	13
2.2.5.1 Aerosoles y partículas .....	13
2.2.5.2 Monóxido de carbono (CO).....	15
2.2.5.3 Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs).....	16
2.2.5.4 Dióxido de azufre (SO <sub>x</sub> ) .....	19
2.2.5.5 Óxido de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) .....	19
2.2.5.6 Contaminantes fotoquímicos .....	20
2.2.5.7 Otros contaminantes .....	21
2.3. Alteraciones macro ecológicas en la atmosfera.....	25
2.3.1 Lluvias acidas .....	25
2.3.2 Efecto Invernadero .....	27
2.3.3 Destrucción de la capa de ozono.....	27
2.4. Cuantificación de tóxicos en el organismo .....	27
2.4.1 Muestreo biológico.....	27
2.4.1.1 Orina .....	28
2.4.1.2 Sangre .....	28
2.4.1.3 Cabello.....	28
2.4.2 Biomarcadores .....	29



2.5. Toxidinamica .....	29
2.5.1 Absorción.....	30
2.5.1.1 Ingestión .....	30
2.5.1.2 Inhalación .....	30
2.5.1.3 Absorción cutánea.....	31
2.5.2 Distribución.....	32
2.5.2.1 Factores que afectan la distribución .....	32
2.5.3 Excreción.....	32
2.5.3.1 Orina.....	33
2.5.3.2 Heces .....	33
2.5.3.3 Bilis .....	33
2.6. Efectos producidos por la contaminación atmosférica.....	33
2.6.1 Efectos sobre la salud humana .....	34
2.6.2 Efectos sobre las plantas .....	35
2.6.3 Efectos sobre los ecosistemas .....	36
2.6.4 Efectos sobre la estratosfera.....	36
2.7. Respuesta toxica de sustancia química del medio ambiente.....	37
2.7.1 Caracterización de la respuesta toxica .....	37
2.7.1.1 Daño celular.....	37
2.7.1.2 Muerte celular.....	38
2.7.1.3 Genotoxicidad.....	40
2.7.2 Factores que afectan la toxicidad.....	41
2.7.2.1 Influencia del medio.....	42
2.7.2.2 Interacciones químicas .....	43
2.7.2.3 Influencia del organismo receptor .....	44
2.8. Relación dosis-respuesta .....	50
2.9. Índice de toxicidad.....	50
2.9.1 Efectos cancerígenos .....	50
2.10. Análisis de riesgo.....	51
2.10.1 Conceptos básicos .....	51
2.10.2 Uso de los análisis de riesgo .....	52
2.10.3 Metodologías y técnicas.....	52
2.10.3.1. Identificación del peligro .....	52
2.10.3.2. Evaluación de riesgos.....	53

2.10.3.3. Determinación de la significancia del riesgo.....	53
2.11. Comunicación de riesgos .....	53
2.11.1. Estimación de la exposición .....	53
2.11.1.1. Escenario de exposición .....	53
2.11.1.2. Descripción del sitio .....	54
2.11.1.3. Descripción de las poblaciones .....	54
2.11.2. Ruta de exposición.....	56
2.11.2.1. Descripción de la ruta de exposición .....	56
2.12. Caracterización del riesgo .....	57
2.12.1. Evaluación de la exposición .....	58
2.12.1.1. Información contenida.....	58
2.12.1.2. Calificación de la información .....	58
2.12.2. Evaluación de la toxicidad.....	60
2.12.2.1. Información sobre toxicidad.....	61
2.12.3. Selección de índice de toxicidad .....	62
2.12.3.1. DdR para efecto no-cancerígeno .....	62
2.12.3.2. Factores de pendiente para efectos cancerígenos .....	63
2.12.3.3. Información contenida en la evaluación de la toxicidad .....	63
2.12.4. Estimación de riesgo .....	63
2.12.4.1. Prueba de consistencia y validez.....	63
2.13. Proyecto de remediación.....	64
2.13.1. Estructura del proyecto .....	65
2.13.1.1. Visión global del proyecto .....	65
2.13.1.2. Investigación para la restauración (IR) .....	65
2.13.1.3. Estudio de viabilidad .....	66
2.13.2. Información generada por el proyecto de restauración .....	66
2.14. Estudio de viabilidad.....	66
2.14.1. Determinación de los objetivos de protección .....	67
2.14.1.1. Definición de las metas preliminares de restauración (MPR)....	67
2.15. Tecnologías de restauración ambiental .....	68
2.15.1. Métodos biológicos.....	69
2.15.1.1. Biorestauración.....	69
2.15.1.2. Fitorrestauración .....	71
2.15.2. Métodos Químicos .....	73

2.15.2.1. Deshalogenación.....	73
2.15.2.2. Muros de tratamiento.....	74
2.15.3. Extracción.....	75
2.15.3.1. Enjuague del suelo in situ.....	75
2.15.3.2. Extracción de vapores.....	75
2.15.3.3. Lavado del suelo.....	76
2.15.3.4. Extracción con disolvente.....	76
2.15.4. Técnicas de control.....	77
2.15.5. Manejo de medios contaminantes.....	77
2.16. Prevención de la contaminación.....	78
2.17. Estrategia de prevención.....	78
2.17.1. Evaluación de riesgos por la prevención.....	79
2.17.2. Modelos de predicción.....	79
III. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS.....	80
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	81
V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA.....	88
VI. CONCLUSIONES.....	91
VII. RECOMENDACIONES.....	92
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Concentraciones de cierto compuesto en la atmosfera .....	4
Tabla 2. Clasificación de sustancias toxicas atmosféricas .....	10
Tabla 3. Contaminantes naturales del aire .....	12
Tabla 4. Clasificación de partículas de los aerosoles .....	15
Tabla 5. Diferencia morfológica entre Necrosis y Apoptosis .....	39
Tabla 6. Ocupaciones que incrementan el riesgo de cáncer .....	42
Tabla 7. Tóxicos con susceptibilidad diferente en cada sexo en la rata.....	45
Tabla 8. Cuadro comparativo de Herencia y Cáncer .....	45
Tabla 9. Efecto de edad en la Toxicidad .....	47
Tabla 10. Criterios de evaluación del NCP.....	68

## Índice de figuras

Figura 1. Capas Atmosféricas.....	3
Figura 2. Contaminante antropogénico de una industria petrolera .....	11
Figura 3. Contaminación en área urbana .....	20
Figura 4. ADME (Adsorción, Distribución, Metabolismo y Excreción) las rutas que sigue un toxico en el organismo.....	30
Figura 5. Vías de entrada por las que las sustancias peligrosas pueden ingresar a cuerpo.....	31

## Resumen

La creciente exposición a sustancias tóxicas atmosféricas debido al desarrollo de diversas actividades económicas en todo el mundo y cada vez más estamos expuestos a mayores posibilidades de contaminar el medio ambiente, estas sustancias, como el monóxido de carbono, el óxido de sodio y los hidrocarburos aromáticos policíclicos, son perjudiciales para los seres humanos y pueden extenderse a áreas vulnerables, como las grandes ciudades. Además de los contaminantes naturales, como las plantas en descomposición y los virus, se agregan compuestos adicionales, como partículas de polvo, cenizas volcánicas y productos industriales. Los contaminantes tóxicos atmosféricos se clasifican en aerosoles y partículas, monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, contaminantes fotoquímicos y otros compuestos. Estos contaminantes pueden causar olores desagradables, reducir la visibilidad y dañar la salud humana. El monóxido de carbono, en particular, al combinarse con la hemoglobina de la sangre, reduce la capacidad de transporte de oxígeno. Los oxidantes fotoquímicos irritan los ojos y las vías respiratorias. La presencia de plomo afecta la inteligencia de los niños y causa anormalidades en los fetos. Para mitigar estos efectos, se deben cumplir las leyes de protección, realizar campañas comunitarias y fomentar la producción limpia en las empresas. Además, se deben reducir el consumo y los desechos, eliminar los productos tóxicos, descontaminar los sitios y aplicar prácticas más seguras. Estas acciones son fundamentales para lograr un desarrollo sostenible desde el punto de vista ambiental.

**Palabras clave:** contaminantes tóxicos; riesgo, mitigación, atmosféricos.

## Abstract

The increasing exposure to atmospheric toxic substances due to the development of various economic activities around the world means that there are more possibilities of polluting the environment. These substances, such as carbon monoxide, sodium oxide and polycyclic aromatic hydrocarbons, are harmful to humans and can spread to vulnerable areas, such as large cities. In addition to natural pollutants, such as decaying plants and viruses, additional compounds are added, like dust particles, volcanic ash and industrial products. Toxic air pollutants are classified into aerosols and particulates, carbon monoxide, polycyclic aromatic hydrocarbons, sulfur dioxide, nitrogen oxide, photochemical pollutants and other compounds. These pollutants can cause unpleasant odors, reduce visibility and harm human health. Carbon monoxide, in particular, when combined with hemoglobin in the blood, reduces oxygen-carrying capacity. Photochemical oxidants irritate the eyes and respiratory tract. The presence of lead affects children's intelligence and causes abnormalities in fetuses. To mitigate these effects, protective laws must be complied with, community campaigns must be carried out and cleaner production must be promoted in companies. In addition, consumption and waste must be reduced, toxic products eliminated, sites decontaminated and safer practices implemented. These actions are essential to achieve environmentally sustainable development.

**Keywords:** toxic pollutants; risk, mitigation, atmospheric.



## I. INTRODUCCIÓN

El ambiente es el medio de existencia de seres bióticos como abióticos, que con el avance de las Industrias Informales aumentan la existencia de tóxicos, esta sumados a los desastres ecológicos que también coadyuvan a la toxicidad ambiental.

La toxicología ambiental investiga los daños causados a un organismo como consecuencia de la exposición a tóxicos ambientales. Evaluar los efectos en la salud pública de la exposición de la población a los tóxicos ambientales existentes en un lugar contaminado es el principal objetivo de la toxicología ambiental. Los xenobióticos que tienen efectos nocivos sobre los seres vivos se denominan tóxicos.

Las superficies epiteliales del aparato digestivo, las vías respiratorias o la piel están en contacto con la toxina cuando ésta entra en el organismo, dependiendo de la vía de exposición. Se considera que la toxina ha entrado en el organismo cuando atraviesa estas membranas y entra en la circulación. Puede provocar daños a largo plazo en uno o varios órganos cuando la sangre la transporta hasta ellos. Las numerosas enzimas del organismo para las que la toxina puede ser un sustrato empiezan a transformarla en cuanto entra en el cuerpo.

Dado que el material no siempre es biodisponible al 100%, la cantidad de tóxico que entra en el organismo puede ser considerablemente diferente de la cantidad inhalada o consumida. Por ejemplo, el arsénico consumido a través del agua se absorbe casi por completo, mientras que su absorción a través del suelo es mucho menor. Cuando el arsénico se adsorbe en las partículas del suelo, no es tan fácilmente accesible como cuando se disuelve en el agua. Cuando el vehículo era el agua potable, una persona tendría una mayor concentración en sangre para la misma cantidad de arsénico ingerida (Cuzick et al., 1992).

Para analizar el traslado, tener y destino de los agentes tóxicos en el cuerpo, es esencial establecer la concentración de las sustancias químicas que ocasionan el perjuicio, y también determinar el alcance del daño. Los compuestos que ingresan a las áreas de contacto del cuerpo con el entorno son absorbidos a una velocidad variable, la cual depende de sus características fisicoquímicas y de las condiciones presentes en la superficie de contacto, la permeabilidad de la membrana y la magnitud del flujo sanguíneo en esa región.



La duración y el volumen de la exposición a sustancias químicas peligrosas determinan la gravedad de los daños en el tejido diana. Si las células pueden curar el daño, éste puede ser reversible; de lo contrario, puede causar alteraciones duraderas y la muerte celular, lo que se conoce como reacción tóxica.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Describir los contaminantes tóxicos atmosféricos más perjudiciales para el ser humano y conocer el riesgo y su debida mitigación.

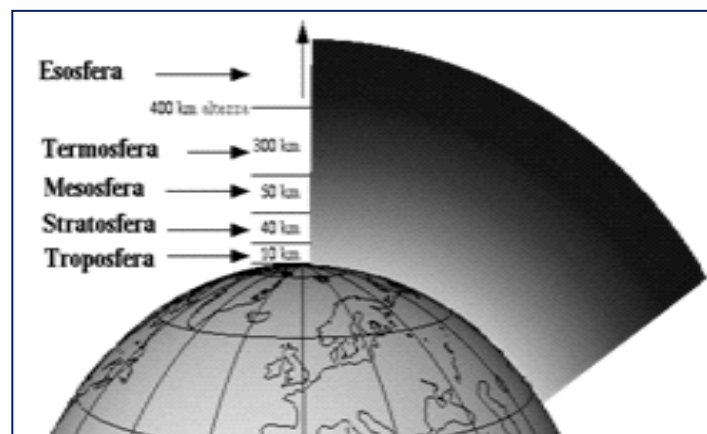
### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Conocer la clasificación de los contaminantes tóxicos atmosféricos y sus efectos.
- Presentar retrospectivamente el aspecto cualitativo de la cuantificación de tóxicos en el organismo humano.
- Mencionar la evaluación existente de los riesgos atmosféricos y su mitigación con su estrategia de prevención.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Medio atmosférico

Pinna et al. (2008), afirmaron que "el hombre es el único que ha sido capaz de superar las fuerzas de la naturaleza para tener dominio sobre el medio atmosférico, sin duda este dominio de modificar la naturaleza es para satisfacer sus necesidades", pero no se puede negar que la ha perturbado. En la figura 1, podemos ver las capas atmosféricas actuales.



*Figura 1.* Capas atmosféricas

La atmósfera, una masa gaseosa de unos dos mil kilómetros de espesor, constituye la capa exterior de la Tierra. La composición de la atmósfera permite el desarrollo de actividades biológicas y actúa como termostato para controlar la temperatura.

La atmósfera no es uniforme; en ella se distinguen varios niveles o estratos. Estas capas y estratos pueden distinguirse entre sí por diversos rasgos, entre ellos su comportamiento térmico.

Por ejemplo, la troposfera se encuentra entre 15 y 18 km por encima del ecuador y entre 8 y 12 km por encima de los polos.

En todas las alturas, esta capa presenta un gradiente vertical (tasa constante de fluctuación térmica).

La troposfera, la estratosfera, la mesosfera, la termosfera y la exosfera son sólo algunos de los estratos que componen la atmósfera terrestre. Las propiedades y variaciones de temperatura de cada estrato varían. El ozono es abundante en la estratosfera, que se encuentra entre 30 y 50 km por encima del nivel del mar. Mientras que la termosfera puede encontrarse a altitudes de 500 km con temperaturas de hasta 500°C, la mesosfera

puede encontrarse a altitudes de hasta 80 km y tiene una temperatura de unos  $-100^{\circ}\text{C}$ . Se cree que la exosfera, de hasta 2.000 km de longitud, marca el límite de la atmósfera terrestre.

Los principales gases del aire atmosférico son el nitrógeno, el oxígeno y el argón, con trazas de otros gases como el dióxido de carbono, el hidrógeno, el neón, el helio y el ozono. En cualquier parte de la atmósfera, estas proporciones son siempre las mismas. La concentración de varias sustancias en la baja atmósfera.

**Tabla 1**

*Concentraciones de cierto compuesto en la atmósfera.*

<b>Compuesto</b>	<b>□/ m<sup>3</sup></b>	<b>Compuesto</b>	<b>□/ m<sup>3</sup></b>
Bióxido de carbono	345-545	Formol	0-16
Metano	200-1600	Cloruros	1-5
Hidrógeno	36-90	Ioduros	0.05-0.5
Ozono	0-100	Plomo	2-20
Dióxido de azufre	0-50	Neón	1.8
Ácido sulfhídrico	3-30	Helio	0.52
Monóxido de carbono	1-100	Kriptón	0.1
Óxido nitroso	0-6	Amoniaco	0-15
Dióxido de nitrógeno	0-6		

Fuente: Pinna, et-al (2008).

A esta combinación hay que añadir las partículas de polvo, las cenizas volcánicas, el polen, los productos industriales y algunas otras sustancias que pueden servir de "núcleos higroscópicos" y facilitar la producción de bruma o nubes para que desempeñen papeles adicionales de gran importancia.

El clima de un lugar está muy influido por las nubes, ya que contribuyen a regular la temperatura actuando como pantalla y filtrando la radiación. El "smog" que caracteriza a los entornos contaminados contiene frecuentemente estas partículas como contaminantes. Algunos fenómenos meteorológicos muy particulares, como la lluvia ácida, el efecto invernadero y la inversión térmica, se manifiestan en zonas muy contaminadas.

Un grupo de moléculas que "fluyen" cíclicamente en la biosfera (el nivel donde se encuentran los seres vivos y llevan a cabo sus procesos metabólicos) están formadas por carbono, oxígeno y nitrógeno.

### **2.1.1. El movimiento de la atmosfera**

El ritmo al que evolucionan estos flujos depende tanto de los tipos de compuestos que crean como de las circunstancias o la dinámica de los hábitats en los que se desplazan. Estos flujos se denominan "ciclos biogeoquímicos". Una de las principales consecuencias de la contaminación ambiental sobre la dinámica de estos flujos es acelerar o ralentizar el ritmo al que estos compuestos cambian y se trasladan a distintos lugares y niveles dentro de la biosfera.

Por encima de la superficie terrestre se producen variaciones de presión. Estas variaciones en la presión atmosférica (peso del aire) son causadas principalmente por cosas como:

- La presión disminuye a medida que aumenta la altura. Las partes más bajas de la atmósfera tienen la presión más alta. La troposfera contiene la mayor parte del aire que existe en la actualidad. La distribución horizontal de la presión atmosférica se ve alterada por la desigual dispersión de la energía solar sobre la superficie terrestre.

Si se deduce la necesidad de un movimiento compensatorio para transportar el aire de los lugares de mayor presión a las zonas de menor presión, existen por tanto disparidades horizontales de presión sobre la superficie. El aire que se desplaza para compensar estas variaciones de presión se conoce como viento.

Las borrascas, los tornados, los huracanes y las tormentas pueden desarrollarse como resultado del viento que se desarrolla en reacción a las cambiantes circunstancias regionales y transitorias en un área específica.

El viento también puede estar presente debido a una tendencia estacional provocada por el ángulo de inclinación de la Tierra con respecto al Sol y su posición actual.

La atmósfera está siempre en movimiento gracias a los patrones regulares de viento producidos por la rotación de la Tierra. Los vientos alisios, que van de los trópicos al ecuador, los alisios, que van de los trópicos a los polos, y los circumpolares, que rodean los polos norte y sur, están causados por la rotación de la Tierra y la distribución desigual de los continentes, los mares y los rayos solares sobre su superficie.

#### **¿Cómo se conocen las condiciones atmosféricas al momento?**

A lo largo de su historia, el ser humano empleado tiene diversas estrategias para estudiar y comprender las condiciones de la atmosfera que lo rodea. La necesidad de prever el clima para asegurar las cosechas, garantizar la navegación y prevenir los efectos de los

desastres naturales ha dado lugar a múltiples invenciones. El barómetro, el higrómetro y la veleta son algunos de los ejemplos más modestos que se pueden mencionar. Por otro lado, los globos meteorológicos y las estaciones forman parte de las acciones cotidianas para conocer las condiciones climáticas que prevalecen en regiones específicas. Actualmente, es posible incluso observar y conocer con detalle la formación de una tormenta tropical, un tornado o un huracán, y prever su trayectoria. Estos conocimientos permiten tomar precauciones para preservar la vida de las personas que habitan en zonas amenazadas, ya que en muchos casos se puede avisar de la inminencia del fenómeno con horas de anticipación. En los últimos tiempos, la cibernética y las nuevas tecnologías espaciales han dado frutos importantes. Hoy en día, se cuenta con un sistema de rastreo que monitorea constantemente las condiciones generales de la atmósfera desde satélites. Uno de estos programas, desarrollado por la NASA, implica toda una flota de satélites, el primero de los cuales, TERRA, fue puesto en órbita el 18 de diciembre de 1999. Este programa ha incorporado a más de 850 científicos de diferentes partes del mundo, quienes trabajan en el diseño, la operación, la obtención y la interpretación de datos. ya que en muchos casos se puede avisar de la inminencia del fenómeno con horas de anticipación. En los últimos tiempos, la cibernética y las nuevas tecnologías espaciales han dado frutos importantes. Hoy en día, se cuenta con un sistema de rastreo que monitorea constantemente las condiciones generales de la atmósfera desde satélites. Uno de estos programas, desarrollado por la NASA, implica toda una flota de satélites, el primero de los cuales, TERRA, fue puesto en órbita el 18 de diciembre de 1999. Este programa ha incorporado a más de 850 científicos de diferentes partes del mundo, quienes trabajan en el diseño, la operación, la obtención y la interpretación de datos. ya que en muchos casos se puede avisar de la inminencia del fenomeno con horas de anticipacion. En los últimos tiempos, la cibernética y las nuevas tecnologías espaciales han dado frutos importantes. Hoy en día, se cuenta con un sistema de rastreo que monitorea constantemente las condiciones generales de la atmósfera desde satélites. Uno de estos programas, desarrollado por la NASA, implica toda una flota de satélites, el primero de los cuales, TERRA, fue puesto en órbita el 18 de diciembre de 1999. Este programa ha incorporado a más de 850 científicos de diferentes partes del mundo, quienes trabajan en el diseño, la operación, la obtención y la interpretación de datos. se cuenta con un sistema de rastreo que monitorea constantemente las condiciones generales de la atmósfera desde satélites. Uno de estos programas, desarrollado por la NASA, implica toda una flota de satélites, el primero de los cuales, TERRA, fue puesto en órbita

el 18 de diciembre de 1999. Este programa ha incorporado a más de 850 científicos de diferentes partes del mundo, quienes trabajan en el diseño, la operación, la obtención y la interpretación de datos. se cuenta con un sistema de rastreo que monitorea constantemente las condiciones generales de la atmósfera desde satélites. Uno de estos programas, desarrollado por la NASA, implica toda una flota de satélites, el primero de los cuales, TERRA, fue puesto en órbita el 18 de diciembre de 1999. Este programa ha incorporado a más de 850 científicos de diferentes partes del mundo, quienes trabajan en el diseño, la operación, la obtención y la interpretación de datos.

### **2.1.2. El ambiente natural**

Se han identificado más de 12 millones de compuestos químicos, muchos de los cuales se encuentran de forma natural en animales, plantas, bacterias, etc., o son producidos por ellos. Actualmente, se utilizan más de 100.000 productos químicos industriales.

La vida moderna depende en gran medida de los productos químicos. Estos están presentes en todos los productos fabricados, incluyendo pinturas, plásticos, medicamentos, plaguicidas, detergentes y disolventes, entre otros. “Aunque son esenciales para mejorar nuestro nivel de vida, también pueden representar riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La mayoría de estos productos químicos se comercializan a nivel mundial y son producidos por un pequeño número de empresas multinacionales” (Cantú, et al. 1992).

En el ambiente natural, existen muchos compuestos químicos, tanto naturales como producidos por el hombre. Es importante considerar la concentración de los compuestos químicos de interés presentes en el ambiente. En el ambiente natural, la presencia de una sola sustancia rara vez es una preocupación. Cada compuesto químico puede estar presente en niveles que por sí solos no causarían daño, “posiblemente porque su concentración es demasiado baja para representar un riesgo, incluso para algunos de los compuestos químicos más tóxicos conocidos. Sin embargo, al interactuar con otros procesos químicos o durante bioquímicos, pueden formarse sustancias más tóxicas” (Frers et al., 2007).

La presencia de una sola sustancia rara vez es una preocupación, cada compuesto químico puede estar presente en niveles que por sí solos no causarían daño, posiblemente

porque su concentración es demasiado baja para representar un riesgo, incluso para algunos de los compuestos químicos más tóxicos conocidos. Sin embargo, al interactuar con otros procesos químicos o durante bioquímicos, pueden formarse sustancias más tóxicas (Frers et al., 2007).

## **2.2. Contaminantes tóxicos atmosféricos**

La contaminación ambiental siempre ha existido pues en parte es inherente a las actividades del ser humano. Sin embargo, en años recientes se está prestando más atención, ya que ha aumentado la frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación en todo el mundo y cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud (Rodríguez et al., (1997).

Los efectos más graves de la polución tienen lugar cuando se introducen en el medio ambiente sustancias (ya sean naturales o artificiales) que superan la capacidad de los ecosistemas para absorber y/o degradarlas. Aunque los casos de polución comenzaron a finales del siglo XVIII, durante la Revolución Industrial, se agravaron con el deterioro ocurrido después de la Segunda Guerra Mundial, cuando el consumo de energía y la extracción, producción y/o uso de diversas sustancias, tanto naturales como artificiales, aumentaron en todo el mundo.

Hay muchas maneras de definir la polución ambiental, pero para fines prácticos, se puede decir que es la introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos que no les corresponden o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, durante un tiempo suficiente y bajo condiciones tales que esas sustancias afectan la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona.

Para que se consideren contaminantes naturales, se debe producir "la acumulación indeseable de sustancias, organismos o formas de energía en un sustrato" y como ejemplo se menciona la presencia de dióxido de carbono en el aire en concentraciones que excedan las naturales, también conocidas como concentraciones o niveles basales.

Para que haya contaminación, se debe tomar en cuenta que "ésta depende del lugar, el tiempo, el tipo de contaminantes y la cantidad en que éste se encuentre y, hasta cierto punto, también de la situación específica y/o la condición en que se encuentre la cadena alimentaria" (Rodríguez et al., (1997).

### 2.2.1. Origen y causas de la contaminación atmosférica.

Las principales razones detrás de la contaminación son las acciones humanas, especialmente aquellas relacionadas con la producción, por ejemplo, la generación de energía (incluida la extracción de petróleo y diversos metales), la industria en general y la agricultura. También pueden contribuir a la contaminación actividades no productivas, como las realizadas en el hogar, así como el transporte y los servicios. (Cantú et al., 1992).

La contaminación puede ser el resultado de procesos sociales como el aumento de la población, la migración y el surgimiento de nuevos asentamientos que pueden generar mayores cantidades de residuos. “En la actualidad, el uso generalizado de sustancias sintéticas en el hogar, la industria y la agricultura es un factor importante, en un lugar y momento específico, pueden coexistir varias de estas causas simultáneamente (Bonet et al., 1991).

### 2.2.2. Clases de contaminación.

Peña et al. (2001), hace la siguiente clasificación:

- **Por el proceso que la causa** (*natural o antropogénica*)
- **Por el tipo de contaminante** (*biológicos, físicos o químicos*).
- **Por el origen de los contaminantes** (natural o sintético/artificial)
- **Por la naturaleza del contaminante** (orgánicos, como el caso de las toxinas naturales, e inorgánicos, como el asbesto, el plomo y los polvos).
- **Por sus efectos.** Algunos contaminantes causan efectos indeseables en los seres vivos, por lo que se les llama contaminantes *tóxicos*. Usualmente, este término se reserva para las sustancias químicas sintéticas (*xenobióticas*), mientras que a las procedentes de organismos vivos y que causan efectos adversos de cualquier tipo, por lo común se les conoce como *toxinas*.
- **Por el sustrato afectado** (contaminación del agua subterránea, de los alimentos, del suelo, del aire urbano, etc.).

### 2.2.3. Fuentes de contaminantes tóxicos atmosféricos.

Los dos tipos de fuentes de contaminación son las naturales y las provocadas por el hombre. Las causas naturales, que incluyen los elementos presentes en algunos alimentos, las emisiones volcánicas y la composición de los suelos y las masas de agua, entre otras cosas, sólo representan una pequeña parte de los problemas de salud pública



asociados a la contaminación. Sin embargo, la contaminación causada por el hombre es mucho más importante y es la raíz de los problemas de la cadena alimentaria. Estas fuentes liberan una amplia gama de contaminantes, tanto en su naturaleza como en su forma. Según la actividad que las genera, las fuentes antropogénicas pueden dividirse en cuatro grupos: industriales, mineras, agrícolas y domésticas.

#### 2.2.4. Clases de sustancias tóxicas atmosféricas.

Las sustancias tóxicas pueden clasificarse de varias formas. A continuación, en la tabla 2, se presenta una clasificación útil con definiciones y ejemplos (Cantú, 1992)

**Tabla 2**

*Clasificación de sustancias tóxicas atmosféricas*

Sustancias	Definición	Ejemplo
Gases	Compuestos que a temperatura y presión ambiente se comportan como el aire.	Monóxido de carbono, óxido de sodio, acetileno, butano.
Humo	Materia sólida en suspensión en la atmósfera formada por pequeñas partículas producidas por la condensación de metales o por resultado de la combustión incompleta.	Humos de soldadura de un metal en fusión, de combustión de madera, cigarro, HAPs, Dioxinas.
Fibras	Es aquel material de tamaño $5\mu$	Asbestos, Fibra de vidrio.
Neblina	Gotas de líquido suspendidas en el aire generado por la atomización, aspersión, espuma, burbujeo de material líquido.	Pinturas en aerosol, insecticidas, ácido sulfúrico entre otros.
Polvos	Materia sólida dispersa en el aire producto de la acción mecánica sobre un sólido.	Polvos de madera, granos de algodón, materiales sólidos, orgánicos o de metal.
Vapores	Materia proveniente de la evaporización de un líquido o de la sublimación de un sólido.	Nafta, aguarrás, mercurio, alcanfor, naftaleno, entre otros.

Fuente: Cantú, et al. (1992).

La polución del aire puede afectar tanto a nivel mundial (ecológico a gran escala) como local (ecológico a pequeña escala), y puede originarse tanto por la acción humana (antropogénica) como por causas naturales (telúricas). Aunque se desconoce la cantidad total de contaminantes en la atmósfera y su forma de actuar, muchos de ellos están identificados claramente, así como su interferencia con el medio ambiente y los efectos que producen.

La actividad contaminante puede provocar desequilibrios en los ciclos biogeoquímicos (carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo), lo que puede dar lugar a reacciones con consecuencias impredecibles para la Biosfera y, por lo tanto, para el conjunto de nuestro Planeta, amenazando el desarrollo sostenible y la supervivencia en condiciones adecuadas. Las emisiones a la atmósfera se producen en forma de gases, vapores, polvos y aerosoles, así como de diversas formas de energía (contaminación térmica, radiactiva, fotoquímica, etc.), y los contaminantes quedan suspendidos en ella, provocando la degradación del medio ambiente en su conjunto.

El control racional de la contaminación del aire se basa en cuatro suposiciones básicas desarrolladas por la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia.

- Primero, el aire es de dominio público, lo que implica tratar la contaminación del aire como un problema público.
- Segundo, la contaminación del aire es un concomitante inevitable de la vida moderna, lo que implica establecer normas y programas para conservar la atmósfera y su función biológica más esencial.
- Tercero, se pueden aplicar los conocimientos científicos para establecer normas públicas y se deben aplicar.
- Cuarto, los métodos para reducir la contaminación del aire no deben aumentar dicha contaminación en otros sectores del ambiente.

Se considera contaminación antropogénica la presencia en el aire de sustancias y formas de energía que alteran su calidad, de manera que implique riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (Peña et al., 2001). La figura 2 muestra contaminación antropogénica de una industria petrolera.



**Figura 2.** Contaminante antropogénico de una industria petrolera  
Fuente: (Peña et al., 2001).

La influencia que una composición química ejerce sobre sus receptores es lo que determina si se considera o no un contaminante, de acuerdo con la definición de polución del aire.

Los contaminantes son sustancias que, en determinadas circunstancias, pueden aumentar el peligro o causar perjuicios. Los contaminantes naturales (Tabla 3) son más comunes que los antropogénicos (Figura 2), que son consecuencias de la actividad humana. No obstante, los contaminantes de origen humano son la amenaza más importante a largo plazo para la biosfera.

**Tabla 3**

*Contaminantes naturales del aire*

Contaminantes naturales del aire	
Fuente	Contaminantes
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Vendavales	Polvo
Plantas (vivas)	Hidrocarburos, polen
Plantas (en descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Fuente: “Contaminación Atmosférica” (En línea) Dirección URL: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2.html>.

Para Rodríguez et al. (1997), la clasificación de estas sustancias es la que distingue entre contaminantes **primarios** y contaminantes **secundarios** los cuales se describen a continuación:

- **Contaminantes primarios**

Se definen como contaminantes primarios a aquellas sustancias que son descargadas directamente en la atmosfera. Los contaminantes primarios se originan en diversas fuentes, lo que da lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química pueden agruparse según su característica más distintiva, como su estado físico (en el caso de partículas y metales) o su elemento químico común (en el caso de contaminantes gaseosos).

Entre los contaminantes atmosféricos más comunes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran: aerosoles, óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, ozono y anhídrido carbónico.

Además de estas sustancias, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que aparecen con menos frecuencia, pero que pueden tener efectos negativos en determinadas zonas debido a que su emisión en la atmósfera es muy localizada. Esto es el caso de los derivados del azufre, los halógenos y sus derivados, el arsénico, el cobre y sus derivados, los componentes orgánicos, las partículas metales de pesados y ligeros como el plomo, el mercurio y el zinc, las partículas de sustancias minerales como el amianto y los asbestos, y las sustancias radiactivas.

### **Contaminantes secundarios**

Los contaminantes atmosféricos secundarios se crean como resultado de las interacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera en lugar de ser liberados al medio ambiente directamente por las fuentes emisoras.

Los principales cambios en la atmósfera provocados por los contaminantes secundarios son el agotamiento de la capa de ozono, la contaminación fotoquímica y la acidificación del medio ambiente.

### **2.2.5. Contaminantes atmosféricos más frecuentes y sus efectos**

Los contaminantes más frecuentes son:

#### **2.2.5.1. Aerosoles y partículas.**

El término partícula o aerosol se utiliza a veces indistintamente, ya que ambos se definen como dispersiones de sustancias sólidas o líquidas en el aire.

**Características:** las partículas pueden ser diminutos fragmentos sólidos o gotas de líquido de pequeño tamaño, con composición química diversa. Se pueden distinguir partículas primarias, emitidas directamente a la atmósfera, y secundarias, formadas por reacciones en la atmósfera. La concentración de partículas en el aire se mide en mg o  $\mu\text{g}$  por  $\text{m}^3$  de aire. Las partículas son un componente natural de la atmósfera, incluyendo productos de procesos naturales (incendios forestales, volcanes), reacciones de trazas de gases (cloruro de amonio, sales de sulfatos y nitratos) y materiales de la superficie de la Tierra (sales de los océanos y polvo mineral de los continentes). además, hay partículas

dañadas por el hombre como resultado de combustión e incineración. Su abundancia relativa varía según el medio: aire rural ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), urbano ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), fábricas y talleres ( $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y gases de central térmica ( $100.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Fuentes:** alrededor del 80% de las partículas presentes en la atmósfera tienen origen natural, como aerosoles marinos, polvo arrastrado por el viento, erupciones volcánicas, incendios forestales, polen, etc. Las fuentes antropogénicas más importantes son procesos de combustión y pérdidas en procesos extractivos e industriales, minería, canteras, fábricas de cemento, tratamiento de residuos, etc. También es importante la formación de aerosoles secundarios a partir de contaminantes gaseosos primarios.

**Cambio en la atmósfera:** las partículas terminan depositándose de dos formas:

- Sedimentación seca, que afecta aproximadamente al 20% de las partículas en la atmósfera.
- Arrastre húmedo, a través de la lluvia, donde las partículas pueden ayudar a la condensación del agua, provocando precipitaciones.

**Los efectos** variarán según:

- El tamaño de las partículas, que puede oscilar entre menos de una micra y alrededor de un milímetro.
- La composición, que puede incluir metales en estado atómico o en forma de sales, principalmente aluminio y calcio, aunque el plomo se utiliza cada vez menos en pinturas y gasolinas, así como hierro; otras sales, como sulfatos y nitratos; y compuestos orgánicos, tanto naturales (terpenos y aceites esenciales) como antropogénicos (hidrocarburos).

Las partículas, independientemente de su composición, pueden depositarse en las plantas, reduciendo su eficacia estomática y afectando su producción; pueden afectar el sistema respiratorio de los animales; aumentar la corrosión y la erosión de los materiales, así como la suciedad, alterando secundariamente su naturaleza al afectar al intercambio gaseoso y la permeabilidad; disminuir significativamente la visibilidad; afectar el equilibrio de la radiación terrestre y la salud humana; en particular, las fibras de asbestos presentes en materiales de aislamiento y antiincendios relativamente antiguos son cancerígenas.

Ciertas partículas pueden adsorber sustancias tóxicas y formar contaminantes secundarios como el ácido sulfúrico. Estas partículas también pueden contener metales tóxicos como el mercurio, el plomo y el níquel. Su composición y disolución en la superficie pueden causar efectos físicos y químicos negativos, como la lluvia ácida y la deposición ácida, que afectan la salud humana, la visibilidad, la radiación solar y los niveles de precipitación.

Para tratar estas partículas se utilizan dispositivos como cámaras de sedimentación, separadores ciclónicos, colectores húmedos, filtros de tela y precipitadores electrostáticos. La composición química de las partículas varía según su origen, como el polvo del suelo que contiene calcio, aluminio y silicio, y el humo de la combustión que contiene compuestos orgánicos.

La combustión de carbón y gasolina también contribuye a la presencia de estas partículas tóxicas en la atmósfera.

**Tabla 4**

*Clasificación de partículas de los aerosoles*

DENOMINACIÓN	COMPOSICIÓN
Núcleos de Aitken	Partículas con menos de 1 micra de diámetro.
Partículas medias (en suspensión)	Partículas con un diámetro comprendido entre 1 y 10 micras.
Partículas sedimentables	Partículas con diámetro superior a 10micras.
Polvos	Partículas sólidas de origen mineral o materia sólida dispersada por el aire.
Humos industriales	Partículas sólidas o líquidas debidas a la volatización de metales, seguida o no de su oxidación por el aire o condensación de vapores.
Humos de combustión	Humos debidos a proceso de combustión, constituidos por partículas de carbono y de hidrocarburos no quemados y cenizas volantes.

Fuente: “Contaminación Atmosférica” (En línea) Dirección URL: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2.html>.

### 2.2.5.2. Monóxido de Carbono (CO)

**Características:** gas transparente, sin olor ni sabor, menos denso que el aire y con baja solubilidad en agua. A altas concentraciones y en exposiciones cortas, puede ser tóxico.

**Fuentes:** La mayoría del monóxido de carbono (90%) en la atmósfera es de origen natural, especialmente a través de la oxidación del metano. Las fuentes antropogénicas incluyen el transporte, la combustión de combustibles fósiles, el tratamiento y distribución de combustibles y la cría de ganado.

**Procesos de formación:** El monóxido de carbono se produce por la combustión incompleta de combustibles a base de carbono, incluyendo la gasolina, el petróleo y la madera, así como productos naturales y sintéticos como el humo del tabaco. Se encuentra en altas concentraciones en espacios cerrados con mala ventilación, como garajes y túneles, y en áreas con tráfico congestionado.

**Efectos:** El monóxido de carbono afecta principalmente a los animales con sistemas respiratorios basados en hemoglobina, ya que tiene una afinidad mayor por el CO que por el oxígeno, lo que resulta en la formación de carboxihemoglobina. Los efectos varían según la concentración de carboxihemoglobina en la sangre, incluyendo alteraciones en la vista y funciones psicomotoras, problemas cardíacos y pulmonares, fatiga, somnolencia y, en concentraciones elevadas, coma, fallo respiratorio y muerte. La concentración de carboxihemoglobina en la sangre depende de la concentración de CO en la atmósfera.

### **2.2.5.3. Hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAPs).**

“Los HAPs son compuestos orgánicos persistentes que pueden permanecer en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo sin perder sus propiedades tóxicas. Debido a su semivolatilidad, los HAPs pueden moverse fácilmente en el medio ambiente” (Rodriguez et al., 1997).

#### **Origen y formación de los HAPs: Los H.**

Dentro de las fuentes antropogénicas cabe destacar el consumo de tabaco que, si bien es insignificante como fuente en general, es de gran importancia como fuente de exposición directa de fumadores y de los cercanos a éstos. “El cáncer inducido por el tabaco no es únicamente efecto de la exposición a la nicotina, aunque ésta sea tóxica, sino a la exposición a HAPs producidas por la combustión del tabaco” (Pinna et al., 2008).

Por ejemplo, la producción de HAPs aumentará en presencia de una menor cantidad de oxígeno disponible en el ambiente para completar la combustión. Las mayores emisiones de HAPs se deben a la combustión incompleta de materia orgánica durante procesos industriales y otras actividades humanas, como:

### **1. Producción de combustibles fósiles:**

Incluye la extracción de petróleo crudo y gas natural, la refinación del petróleo y la fabricación de negro de humo, creosota, alquitrán y asfalto. Es importante destacar que, gracias a las mejoras en las técnicas de las instalaciones existentes, las emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos (HAPs) en suspensión en el aire procedentes de la producción de combustibles fósiles han disminuido significativamente en los últimos años.

### **2. Calentamiento en centrales eléctricas y hogares:**

Los principales contaminantes atmosféricos emitidos son fenantreno, fluoranteno, pireno y criseno. Las emisiones de los hornos de leña son de 25 a 1000 veces mayores que las de los de combustibles fósiles, y en las áreas donde se utiliza principalmente leña para calentar los hogares, la mayoría de los HAPs pueden derivarse de esta fuente, especialmente en invierno. Por lo tanto, las concentraciones de contaminantes atmosféricos perjudiciales para la salud, incluidos los HAPs, tienden a ser más altas en interiores en los países en desarrollo, a diferencia de la creencia común de que esto es principalmente un fenómeno urbano asociado con vehículos y fábricas. Una gran proporción de hogares en países en desarrollo dependen de combustibles de biomasa (como leña, estiércol y residuos de cultivos) para cocinar y calentar alimentos. Como resultado, alrededor de 3500 millones de personas, principalmente en áreas rurales, están expuestas a altos niveles de contaminantes atmosféricos en sus hogares.

### **3. Preparación de alimentos:**

Durante la preparación de alimentos, la combustión incompleta de combustibles, aceites utilizados en la preparación y los propios alimentos pueden generar emisiones de HAPs.

### **4. Tráfico vehicular:**

Los vehículos a gasolina emiten principalmente fluranteno y pireno, mientras que los motores diesel liberan naftaleno y acenafteno en sus gases de escape. Aunque los motores a gasolina emiten una alta proporción de ciclo pireno, su concentración en los



gases de escape de los motores diesel apenas supera el límite de detección. Las emisiones de HAPs varían dependiendo de la sustancia, el tipo de vehículo, el estado del motor y las condiciones de prueba, oscilando entre unos pocos nanogramos por kilómetro. La instalación de catalizadores reduce significativamente las emisiones de HAPs de los vehículos.

### **5. Quema de residuos:**

Las emisiones de HAPs en los gases resultantes de la quema de residuos se han estimado en alrededor de 10 mg/m<sup>3</sup>.

### **6. Generación de electricidad con carbón:**

Las centrales eléctricas de carbón liberan principalmente compuestos de dos y tres anillos de HAPs en la atmósfera.

**Efectos:** Los oxidantes fotoquímicos, como los hidrocarburos aromáticos, tienen efectos nocivos en las plantas, provocando necrosis, menor crecimiento y producción. En los seres humanos y otros animales, pueden causar cefaleas, irritación respiratoria y otros daños. “Además, estos compuestos pueden alterar los enlaces insaturados y modificar las propiedades de los materiales orgánicos, los HAPs de menor peso molecular se evaporan más fácilmente y pueden ingresar al organismo a través de la ingestión, inhalación o absorción dérmica” (Cantu et al., 1992).

Debido a su baja solubilidad en agua y alta solubilidad en sustancias lipídicas, se acumulan en los organismos, la materia orgánica y los sedimentos, permaneciendo allí durante períodos prolongados y garantizando su biodisponibilidad. Algunos HAPs tienen una fuerte actividad carcinogénica, como el benzaantraceno en animales y el benzo[a]pireno en humanos. Se sospecha que todos los HAPs en general pueden ser carcinogénicos en cierto grado, incluso a niveles muy bajos. La absorción de los HAPs ocurre a través de las vías respiratorias, el aparato digestivo y la piel, y la tasa de absorción pulmonar depende del tipo de HAPs, el tamaño de las partículas y la composición del adsorbente. Los HAPs adsorbidos en partículas se eliminan de los pulmones más lentamente que los hidrocarburos libres (Peña et al., 2001).

#### **2.2.5.4. El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

El trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) son dos óxidos de azufre que pueden formarse. El dióxido

de azufre es el más común en las emisiones estables y tiene un olor acre e irritante. El SO<sub>2</sub> se origina tanto de fuentes naturales, como la oxidación del sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) en el metabolismo anaeróbico de la materia orgánica, como de fuentes antropogénicas, principalmente de procesos de combustión estacionaria en plantas termoeléctricas e industriales.

El dióxido de azufre se genera principalmente a través de la combustión de carbón en usinas térmicas, así como en ciertos procesos industriales como la fabricación de papel y la fundición de metales. Al igual que los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre contribuye al smog y a la lluvia ácida. Está estrechamente relacionado con el ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte. Los óxidos de azufre tienen efectos negativos en las plantas, causando necrosis en función de la dosis, alteración en los contenidos de azúcares y proteínas, y pérdida de productividad. También pueden provocar irritación ocular y respiratoria en animales a dosis elevadas, así como trastornos pulmonares permanentes y problemas respiratorios.

#### **2.2.5.5. Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).**

Entre los ocho compuestos de nitrógeno que pueden generarse, únicamente tres se presentan en la atmósfera debido a la inestabilidad de los restantes: óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), los cuales se encuentran en estado gaseoso.

**Propiedades:** Se origina a partir de la combustión de combustibles como la gasolina y el carbón. Es una de las principales causas del smog y de la lluvia ácida. El primero se produce por la reacción de los óxidos de nitrógeno con compuestos orgánicos volátiles; el NO, que es incoloro e inodoro, no es inflamable y es tóxico, interviene en procesos fotoquímicos troposféricos; el NO<sub>2</sub>, de color pardo-rojizo, es tóxico y asfixiante, interviene en procesos fotoquímicos troposféricos.

**Fuentes:** El NO y el NO<sub>2</sub> tienen su origen principalmente en actividades humanas, especialmente en reacciones de combustión a altas temperaturas. Por lo tanto, se observan variaciones debido a factores como la actividad productiva y de transporte.

**Efectos:** afecta a la fotosíntesis, causa clorosis, lesiones y necrosis en plantas; el NO<sub>2</sub> es más tóxico para los animales y, a concentraciones relativamente elevadas, provoca irritación ocular y respiratoria, seguida de problemas respiratorios, edemas pulmonares y

muerte; los óxidos de nitrógeno y los nitratos también afectan a los tintes, las fibras textiles y las aleaciones de cuproníquel. La principal problemática se debe a la contribución de estos compuestos al smog o niebla fotoquímica, así como a la formación de ácido nítrico y de lluvia ácida por su disolución; en la estratosfera, contribuyen a la destrucción de la capa de ozono. El smog en altas concentraciones puede causar dificultades respiratorias en personas asmáticas.

#### **2.2.5.6. Contaminantes fotoquímicos.**

La contaminación fotoquímica se produce por la presencia de oxidantes en la atmósfera como consecuencia de las reacciones de los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta procedente de la luz solar. La formación de oxidantes se ve facilitada por condiciones estables de alta presión (anticiclón), luz solar fuerte y vientos débiles, que inhiben la propagación de grandes contaminantes (Rodríguez et al., 1997).

El patrón de contaminación en las áreas metropolitanas es "neblina" o "smog" caracterizado por niveles relativamente altos de oxidantes que irritan los ojos y la garganta, atacan las plantas, producen olores y reducen la visión, como se muestra en la Figura 3. Su origen se debe a la interacción de la radiación ultravioleta del sol de 0,4 a 0,2  $\mu\text{m}$  (energía 290 a 580 kJ/mol) con ciertos componentes de la atmósfera (Frier et al., 2007).



**Figura 3.** Contaminación en área urbana  
Fuente: (Frers, et al., 2007).

“Las sustancias susceptibles de ser oxidadas son principalmente el SO<sub>2</sub> y NO e hidrocarburos constituyen junto a la luz solar gran parte de la contaminación fotoquímica de la atmósfera en las capas inferiores (troposfera)” (Frier et al., 2007).

#### **2.2.5.7. Otros contaminantes**

##### **a). Metales tóxicos.**

Los metales son elementos químicos que suelen estar presentes en muy bajas concentraciones en la atmósfera. Una de las consecuencias más graves de la presencia de metales tóxicos en el medio ambiente es que no se degradan química ni biológicamente en la naturaleza, lo que provoca su persistencia. Esta persistencia da como resultado la biodispersión de minerales en cadena alimentaria. Como resultado de este proceso, las concentraciones de metales en la parte alta de la región pueden alcanzar valores muy superiores a los de la atmósfera.

El mercurio (Hg) y el plomo (Pb) se encuentran entre los metales más tóxicos ya que afectan la salud humana. “La cantidad de plomo en el aire ha experimentado un marcado aumento como consecuencia de las actividades humanas, siendo las concentraciones de plomo en las áreas urbanas de 5 a 50 veces superiores que en las áreas rurales” (Cantu et al., 1992).

**El plomo:** es un elemento extremadamente peligroso que, sobre todo en niños pequeños, puede provocar diversas enfermedades. Tanto el sistema neurológico como el digestivo pueden verse afectados. Las sustancias que contienen plomo pueden provocar cáncer. Además, el plomo perjudica a los animales.

Gracias a la eliminación gradual del plomo de la gasolina, la contaminación atmosférica ha disminuido drásticamente. Otros productos, como la pintura para paredes y automóviles, las operaciones de fundición, la producción de baterías de plomo, los señuelos de pesca, componentes específicos de las balas, algunos objetos de cerámica, las persianas venecianas, las tuberías de agua y algunos tintes para el pelo, también pueden exponer a las personas al plomo por inhalación e ingestión.

##### **b). Ozono.**

“El ozono es una forma alotrópica del oxígeno. Su fórmula química es O<sub>3</sub>. En condiciones normales es un gas incoloro de olor picante característico. Posee un gran poder oxidante y gran tendencia a transformarse en oxígeno” (Enkerlin et al., 1997).

Las concentraciones de ozono sobre el suelo son muy pequeñas y aumentan rápidamente con la altitud. Su presencia en la baja atmósfera se debe principalmente a la actividad fotoquímica de la radiación solar, en presencia de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. El ozono existe de dos formas: El ozono se forma en la atmósfera (desde la superficie terrestre hasta una altura de 15 km), y es muy dañino para los organismos vivos, porque además de contaminar, también contribuye al calentamiento global. En este caso se le llama contaminante secundario porque no se libera directamente a la atmósfera, sino que se forma en el aire cuando los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan a la luz del sol, generalmente en días soleados. Clima cálido con temperaturas que oscilan entre los 24 y los 32 grados Celsius. En los últimos años, las concentraciones de ozono han aumentado significativamente.

Por otro lado, forma parte de las capas superiores de la atmósfera (lo encontramos en la estratosfera a unos 25 km de altura) y actúa como un importante compuesto, ya que “ayuda a filtrar la radiación ultravioleta emitida por el sol y bloquear el 90% de la radiación ultravioleta, ya penetran la atmósfera y causan algunos daños a las plantas o células de los organismos, donde pueden causar cáncer de piel” (Frers et al., 2007).

Cuando el ozono está en la troposfera, es muy dañino, pero cuando está en la estratosfera, también nos protege de los rayos UV. En 1984, se descubrió un agujero en la capa de ozono estratosférico sobre la Antártida. Aunque algunos científicos han estado advirtiendo durante décadas que los clorofluorocarbonos (CFC) están agotando la capa de ozono, esto fue rechazado inesperada e inequívocamente por la industria química.

Cuando los CFC ingresan a la atmósfera, se descomponen químicamente y reaccionan con el ozono ( $O_3$ ) para formar monóxido de cloro (ClO), que separa los átomos de oxígeno y los convierte en moléculas diatómicas ( $O_2$ ), afectando así la capa de ozono. No filtra la radiación ultravioleta del sol. Se estima que una molécula de monóxido de cloro (ClO) puede destruir millones de moléculas de ozono. Si además añadimos que los clorofluorocarbonos (CFC) son moléculas muy estables que pueden permanecer en la atmósfera unos 20 años, entonces en el futuro destruirán infinidad de moléculas de la capa de ozono.

La disminución continua de la capa de ozono podría tener graves consecuencias para los seres vivos. “La exposición a los rayos ultravioleta puede provocar cáncer de piel,

cataratas y afectar el sistema inmunológico. Además, se espera un rendimiento menor en los cultivos y una disminución en la productividad del fitoplancton, que es esencial en los ecosistemas oceánicos” (Pinna et al., 2008).

### **c). Compuestos orgánicos volátiles (VOC).**

Estos compuestos son orgánicos. Los componentes básicos de los seres vivos y todos sus derivados son sustancias orgánicas que incluyen carbono. Muchas de las sustancias químicas que utilizamos se sintetizan en lugar de producirse de forma natural. Las sustancias químicas volátiles liberan vapores rápidamente. A temperatura ambiente, las sustancias líquidas emiten vapor rápidamente.

La gasolina, los productos químicos industriales como el benceno, el tolueno, el xileno y el percloroetileno (el disolvente más utilizado para la limpieza en seco) son ejemplos de VOC. Combustibles como la gasolina, la madera, el carbón y el gas natural arden cuando se queman, al igual que los disolventes, pinturas, pegamentos y otros productos utilizados en el hogar o en el lugar de trabajo. Los VOC pueden encontrarse en grandes cantidades en los gases de escape de los vehículos. Entre los contaminantes atmosféricos peligrosos se encuentran varias sustancias químicas orgánicas volátiles. Por ejemplo, el benceno tiene propiedades cancerígenas.

### **d). Dioxinas (TCDD).**

Es el término colectivo para un grupo de compuestos químicos increíblemente estables y estructuralmente muy similares entre sí. Sólo se necesitan tres componentes para la formación de TCDD: “a. una fuente de carbono o materia orgánica (combustibles fósiles como madera, gasóleo, etc.); b una fuente de cloro (recipientes y tuberías de PVC, etc.); y c. un entorno de reacción (fuego, cámara de combustión, etc.) donde puedan mezclarse” (Rodríguez et al., 1997).

Los furanos son similares a las TCDDs en el sentido de que son creados tanto por el hombre como por la naturaleza, aunque nunca se han fabricado intencionadamente fuera de cantidades minúsculas con fines de investigación. Pero de forma no intencionada, sólo existen dos vías principales para su producción:

- Como subproductos no intencionados que pueden propagarse ampliamente durante la producción de insecticidas, herbicidas, conservantes de la madera, antisépticos, artículos de papel, etc.

- Dado que las TCDD se generan principalmente a temperaturas entre 250 y 400 °C en diversos procesos de combustión, así como en operaciones no reguladas, al quemar productos químicos, combustibles, nafta con plomo, plásticos, papel y madera a bajas temperaturas.

Tanto las dioxinas que se enterraron con la basura como las que flotaron en la atmósfera y se precipitaron pueden descubrirse en el suelo.

Las plantas pueden absorber pequeñas cantidades de ellas a través de sus raíces. Por otro lado, la luz solar puede destruir las dioxinas que flotan en la atmósfera y se depositan en las plantas. Está demostrado que las dioxinas se acumulan fuertemente en los seres vivos a medida que ascienden por la cadena alimentaria. Se ha informado de factores de bioconcentración en el rango de 2000 a 9000, que se refiere a la capacidad de algunos compuestos para alcanzar concentraciones mayores en los organismos que en el agua como resultado de su mayor afinidad por los tejidos vivos que por el agua.

Las dioxinas primarias son solubles en aceites, pero en gran medida insolubles en agua y en la mayoría de los compuestos orgánicos.

Esto implica que resisten la dilución de la lluvia en el suelo y, si son ingeridas por personas o animales, penetran en los tejidos grasos.

Estos compuestos son transportados por el viento y quedan en superficies como el suelo, el pavimento, las hojas de las plantas, los ríos y los arroyos. Las dioxinas entran en las masas de agua principalmente por el flujo de suelo degradado hacia arroyos y ríos y por la liberación de precipitaciones sobre zonas pobladas.

#### **Distribución de las Dioxinas (TCDD) en el ambiente:** (Enkerlin et al., 1997).

- **En la atmósfera:** los niveles de TCDD son extremadamente bajos, y sólo en áreas poluídas (cercas a fuentes de combustión de combustibles fósiles, incendios, etc.) se la encuentra unida a partículas (ej.: cenizas) y aerosoles (Enkerlin et al., 1997).
- **En el agua:** las TCDD tiene baja concentración en el agua, por lo que tiende a acumularse en los sedimentos y a concentrarse en los organismos del ambiente (p.e.: peces) (Enkerlin et al., 1997).
- **En el suelo:** aquí, la principal fuente de TCDD es la que precipita de la atmósfera y la que se entierra.

- **En la vegetación:** las TCDD puede ser absorbida por las plantas a través de la raíz. La que se deposita sobre las hojas puede llegar a ser degradada por la acción de la luz (Enkerlin et al., 1997).
- **En los animales:** las TCDD se acumula fuertemente en todos los organismos vivos a través de la cadena alimenticia, con factores de concentración del orden de 2000 a 9000 (según datos internacionales) para varios tipos de ellos (se la ha detectado en leche, huevos y peces) (Enkerlin et al., 1997).

Es importante señalar al respecto que el tiempo de vida media de las dioxinas en el suelo asciende a más de 10 años y en el cuerpo humano es de hasta 6 años.

#### **e). Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).**

Es el principal gas de efecto invernadero. Se produce al quemar carbón, petróleo y gas natural. Puede provocar ceguera, congelación de tejidos y quemaduras en estado líquido o sólido. Las cantidades elevadas de toxinas inhalables son nocivas y pueden acelerar el ritmo respiratorio, producir desmayos o incluso provocar la muerte.

#### **f). Clorofluorcarbonos (CFC).**

Se trata de sustancias químicas que se emplean en cantidades importantes en la fabricación de artículos de consumo, en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado y en la industria. Ascenden hacia la estratosfera tras ser vertidos a la atmósfera. Una vez allí, los CFC provocan procesos químicos que hacen adelgazar la capa de ozono, que protege la superficie del planeta de los rayos solares. Hay que preservar la estratosfera reduciendo las emisiones de CFC y deteniendo la fabricación de sustancias que agotan la capa de ozono.

### **2.3. Alteraciones macro ecológicas en la atmósfera**

**Según** Rodríguez et al. (1997), estas alteraciones macro ecológicas en la atmósfera son:

#### **2.3.1. Lluvias acidas.**

Entendemos por acidificación del medio ambiente la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera. “La acidificación es un ejemplo claro de las interrelaciones entre los distintos factores ambientales, atmósfera, suelo, agua y organismos vivos. La contaminación atmosférica



producida por los SO y NO se ven afectados directa o indirectamente al agua, al suelo y a los ecosistemas” (Rodríguez et al., 1997).

Los ácidos disueltos consisten en iones de sulfato, iones nitrato e iones de hidrógeno. Todos estos iones están presentes en las gotas de lluvia, lo que da lugar a la acidificación de la misma (Cantu et al., 1992).

Bajo la influencia del sol, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno se combinan con el oxígeno y la humedad circundante para formar ácido sulfúrico y ácido nítrico, respectivamente. En forma de lluvia, niebla o aerosol ácido, vuelven a la Tierra. Todo lo que está en el exterior se ve afectado por ellos. Las hojas pueden resultar dañadas directamente por los gases y partículas generados durante la combustión. Cuando se crea lluvia ácida o rocío ácido, cae sobre la parte superior de las hojas, que resultan menos dañadas ya que muchas plantas tienen una capa protectora de cera. Toda la hoja queda cubierta por la niebla ácida, que se filtra por los poros del envés y daña gravemente la hoja. No sólo se ven perjudicados los bosques, sino también las plantas alimenticias cultivadas por el hombre.

La lluvia ácida tiene un impacto en el suelo y provoca cambios en él. Si el suelo contiene calcio, el impacto se compensa temporalmente. Numerosas especies del suelo, incluidos hongos, bacterias, lombrices de tierra y ciertos insectos, perecen como consecuencia de la acidez provocada por la lluvia ácida.

Efecto sobre los animales: A medida que los lagos se vuelven más ácidos, los peces enferman o perecen, junto con las aves y mamíferos que se alimentan de ellos. Se produce un agotamiento de la variedad biológica.

Los principales componentes de la lluvia ácida son los ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico, así como sus sales; el ácido sulfúrico es el componente más importante debido a su mayor solubilidad. Como consecuencia, el pH del agua de lluvia, que suele ser ligeramente básico y oscila entre 5,5 y 5,7, alcanza niveles.

Principales efectos que la lluvia ácida ocasiona sobre:

- La acidificación de los ecosistemas de agua dulce especialmente los lagos afecta muy negativamente a muchas especies sobre todo peces; la acidificación de los suelos lixivia o arrastra nutrientes y moviliza metales pesados, que pueden incorporarse a las redes tróficas; la acidificación de la vegetación, decoloración y pérdida de follaje, deterioro de la corteza y muerte.

- **Materiales:** aumento de la velocidad de corrosión de los metales, deterioro de los materiales calizos (de modo que se vuelven menos duraderos).

### **2.3.2. Efecto Invernadero.**

Este término se refiere a un fenómeno relacionado con el hecho de que algunos gases atmosféricos tienen la capacidad de almacenar radiación de onda larga, o calor. Aunque la cantidad de gases de origen humano está aumentando gradualmente, la mayoría de estos gases proceden de fuentes naturales. Debido a ello, los científicos del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) han realizado su predicción sobre el inminente cambio climático. En la última cumbre, celebrada en Kioto, se realizaron esfuerzos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO<sub>2</sub>). Sin embargo, como suele ocurrir, estos esfuerzos son tardíos e insuficientes.

La cantidad total de CO<sub>2</sub> que contribuye al calentamiento global es del 55% (compuesto por un 15% procedente de la deforestación, un 11% de la producción de electricidad y un 29% de otras fuentes), mientras que el 45% restante se compone de un 5% de N<sub>2</sub>O, un 20% de CH<sub>4</sub> y otros hidrocarburos, y un 20% de CFC.

En el peor de los casos, este efecto podría provocar la extinción de algunas cadenas alimentarias que no pueden soportar los cambios de temperatura.

### **2.3.3. Destrucción de la capa de ozono.**

El agotamiento de la capa de ozono estratosférico como consecuencia de la liberación de determinados compuestos a la atmósfera es uno de los principales problemas provocados por las interacciones entre contaminantes en el medio ambiente. A través de una serie de acontecimientos cíclicos en los que intervienen radicales que contienen hidrógeno y nitrógeno, el ozono de la estratosfera puede descomponerse. Al absorber la luz ultravioleta, el ozono también puede descomponerse, liberando oxígeno a nivel atómico y molecular.

## **2.4. Cuantificación de tóxicos en el organismo**

“La estimación de la concentración de las especies tóxicas en los medios corporales se puede hacer de dos formas: por medio de muestreo biológico y por el uso de marcadores biológicos” (Glynn et al., 1999).

### **2.4.1. Muestreo Biológico.**

La medición cuantitativa de la concentración del tóxico o de sus metabolitos en uno o

varios medios corporales del organismo expuesto se conoce como muestreo biológico o dosimetría interna.

Con el fin de determinar el alcance de la exposición ambiental y demostrar que se ha producido una exposición efectiva, esta información se utiliza para estimar la exposición recibida por tejidos corporales específicos. La presencia del tóxico en el organismo sirve por sí sola como prueba de que se produjo la exposición.

#### **2.4.1.1. Orina**

Este medio contiene xenobióticos y/o sus productos de excreción que son solubles en agua. La toma de muestras es un proceso bastante sencillo que no requiere técnicas intrusivas ni personal cualificado.

Los resultados deben ajustarse a estos criterios, ya que los cambios en el flujo y la composición de la orina afectan a la concentración de sustancias en este medio.

#### **2.4.1.2. Sangre**

Dado que se cree que la sangre está en equilibrio con todos los órganos del cuerpo, es el medio que describe con mayor precisión cómo se está exponiendo cada órgano en un momento dado. La distribución del tóxico entre el plasma y las células, que puede cambiar en función de la duración de la exposición y del tiempo transcurrido tras ésta, es el factor que más influye en la representatividad de los resultados de las muestras de sangre. Las moléculas ionizadas y las sustancias químicas liposolubles suelen estar presentes en el plasma y las células, respectivamente. La extracción de sangre requiere conocimientos específicos y debe realizarse con la máxima precaución.

- No contaminar la muestra con la aguja o con el recipiente.
- Seleccionar procedimientos de muestreo y preparación que no afecten los resultados.

#### **2.4.1.3. Cabello**

La mayoría de las sustancias que se integran en el pelo son las que se sienten atraídas por los grupos sulfhidrilos de la queratina.

La toma de muestras de cabello es ineficaz para determinar exposiciones recientes, ya que el cabello crece lentamente. Se sabe que los xenobióticos, que están presentes en el organismo, sólo se integran en el tallo piloso durante una de las fases de desarrollo del cabello, y la tasa de crecimiento de esa fase es de 0,37 mm al día. Con el uso de esta

información, se puede reconstruir con precisión el historial de exposiciones previas durante periodos prolongados. La contaminación procedente de fuentes externas, como partículas en suspensión en el aire, contaminantes en el agua, productos químicos de limpieza y cosméticos, es el principal problema de las muestras de cabello.

#### **2.4.2. Biomarcadores.**

Según Datta et al. (1986), “los marcadores biológicos o biomarcadores son los cambios medibles, ya sean estos bioquímicos, fisiológicos o morfológicos, que se asocian a la exposición a un tóxico”. Por ejemplo; el nivel de colinesterasa en sangre se asocia a la exposición de plaguicidas organofosforados.

Los biomarcadores se utilizan para:

- detectar la presencia de una exposición.
- determinar las consecuencias biológicas de la exposición.
- detectar los estados iniciales e intermedios de un proceso patológico.
- identificar a los individuos sensibles de una población.
- fundamentar la decisión de intervenir, tanto a nivel individual como ambiental.

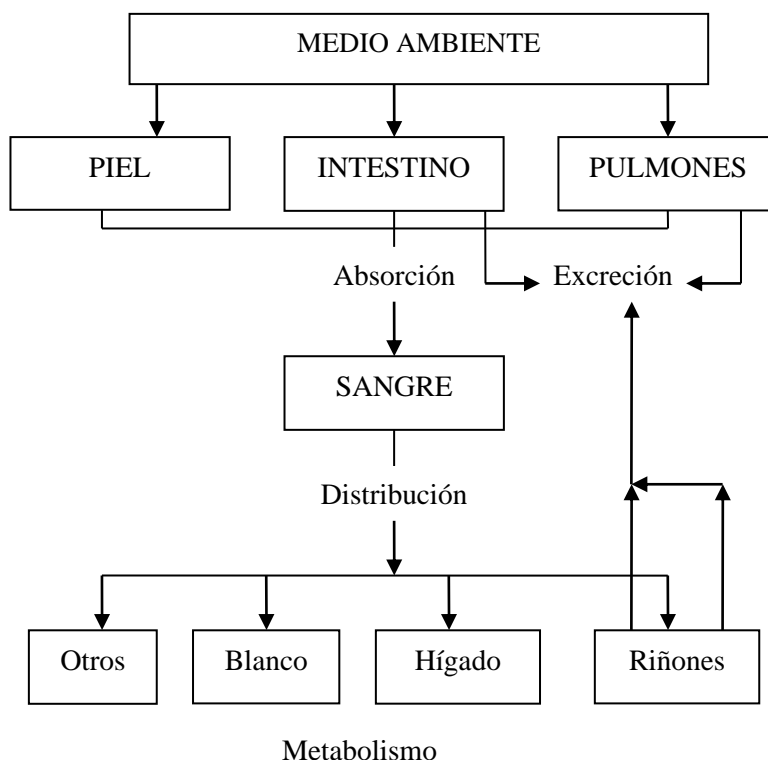
Los biomarcadores más útiles son los que se encuentran en sangre (Larramendy et al., 1981).

#### **2.5. Toxicodinámica**

La biota está constantemente rodeada de una gran variedad de sustancias químicas en su entorno, con las que interactúa para llevar a cabo todas sus funciones esenciales. Está claro que un gran número de especies ha sido capaz de soportar este escenario a pesar de que todas las sustancias con las que entra en contacto, incluida el agua, tienen el potencial de ser venenosas en algunas cantidades.

Para que una toxina ambiental cause daño, primero hay que exponerse a ella y, después, debe vencer las defensas del organismo para llegar al tejido diana en estado activo.

La cantidad de tóxico que entra en el lugar de acción en estado activo y el tiempo que se le permite actuar allí determinan el impacto que tendrá una dosis. el proceso de transporte, y donde causa daños. Distribución. Metabolismo y Excreción. El proceso se conoce por sus siglas ADME tal como se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** ADME Las rutas que sigue un tóxico en el organismo.

Fuente: (Cantu et al., 1992).

**2.5.1. Absorción.** – “La absorción de un tóxico se define como el proceso por medio del cual éste atraviesa membranas y capas de células hasta llegar al torrente sanguíneo” (Cantu et al., 1992).

A continuación, se presentarán los mecanismos de absorción y los lugares dónde ésta sucede para cada una de las vías de ingreso de importancia ambiental.

#### 2.5.1.1. Ingestión

Cuando el tóxico se ingiere, entra al Tracto gastrointestinal (TGI), la mayor cantidad se absorbe en el estómago y en los intestinos, aunque también puede haber absorción en cualquier lugar del TGI, incluyendo las absorciones sublingual y rectal. El sitio de absorción depende en parte del estado de ionización del compuesto. Los ácidos débiles es más probable que se absorban en el estómago, donde hay un pH bajo, mientras que las bases débiles, que están menos ionizadas a pH alto, se absorben mejor en el intestino donde existen estas condiciones.

#### 2.5.1.2. Inhalación.

Los gases, los vapores líquidos volátiles, los aerosoles y las partículas suspendidas en el

aire están expuestos por inhalación.

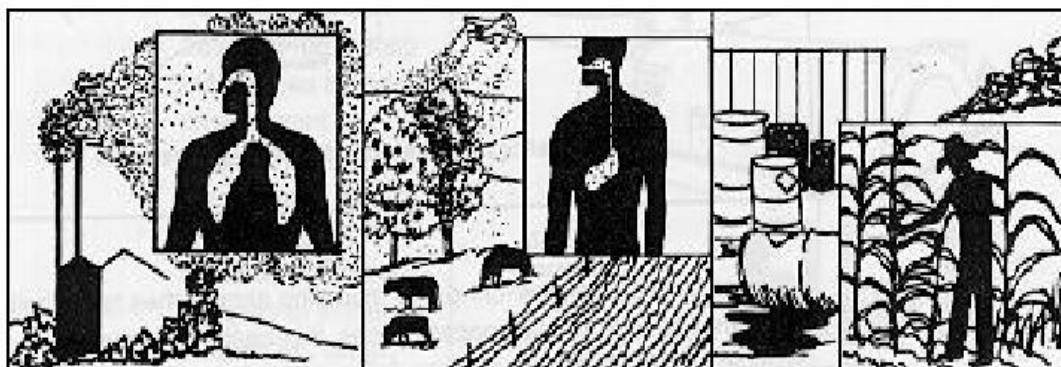
La nariz y los pulmones son los lugares de absorción. Las partículas grandes son retenidas por la nariz, mientras que los gases hidrosolubles y altamente reactivos son eliminados o atrapados allí. El mismo proceso que se utiliza para el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono se utiliza para la absorción de gases y vapores en el pulmón.

Las sustancias químicas ionizadas, que se absorben lentamente, no suelen ser volátiles, por lo que es poco probable que estén presentes en el aire en forma de vapores o gases, pero aun así pueden entrar en los alvéolos si son absorbidas por partículas de polvo microscópicas. Al disolverse en la sangre, las moléculas de gas son absorbidas por la zona alveolar de los pulmones.

La solubilidad de gases en la sangre depende fundamentalmente de su solubilidad en agua y de la presión parcial del gas en el aire inhalado. “La sangre distribuye los tóxicos a todo el organismo, la inhalación es la ruta de exposición para la causa más frecuente de muerte por envenenamiento con monóxido de carbono y para una de las enfermedades profesionales más importantes: la silicosis” (Higgins et al., 1982).

### 2.5.1.3. Absorción cutánea

A diferencia del epitelio del intestino y de los alvéolos pulmonares, la piel no está destinada a absorber compuestos beneficiosos para el organismo. La piel tiene muy poca permeabilidad, ya que está formada por múltiples capas, algunas de ellas muy gruesas, y tiene muy poco riego sanguíneo. Para ser absorbida a través de la piel, una sustancia debe difundirse primero a través del estrato córneo y las demás capas de la epidermis antes de llegar a los capilares sanguíneos y linfáticos dérmicos y entrar en la circulación.



**Figura 5.** Vías de entrada por las que las sustancias peligrosas pueden ingresar a cuerpo

Fuente: (Vahter et al., 1988).

### **2.5.2. Distribución**

Cuando se habla de distribución de un tóxico, se hace referencia a dónde y qué cantidad del mismo está presente en los distintos tejidos. Transportar la toxina no es lo mismo que distribuirla. Por ejemplo, cuando se afirma que una sustancia está dispersa por los órganos A, B y C, no se refiere a cómo se transportó la sustancia desde la superficie absorbente hasta los órganos pertinentes A, B y C, sino al hecho de que el tóxico está presente en estos órganos en concentraciones de a, b y c.

La distribución depende de:

- Del flujo sanguíneo.
- la velocidad de difusión en las interfaces sangre-tejido, la cual depende del coeficiente de partición.
- La permeabilidad y de la afinidad del tejido por el compuesto.

En el camino hacia el sitio de acción, el compuesto puede ser:

- Captado por las proteínas plasmáticas.
- Transportado hacia determinadas células.
- Ver restringido su paso por membranas selectivas.
- Ser lo suficientemente liposoluble como para ser almacenado en el tejido graso.

#### **2.5.2.1. Factores que afectan la distribución;**

El flujo sanguíneo y la afinidad de los distintos órganos o tejidos por el fármaco son los dos elementos que más influyen en la distribución.

Con el tiempo, la distribución puede alterarse. Por ejemplo, los PCB se reasignan con el tiempo a la piel y al tejido adiposo tras haberse diseminado primero por el hígado y los músculos (Dong et al., 1993).

La liposolubilidad es un factor clave tanto en la absorción como en la distribución (Dong et al., 1993).

#### **2.5.3. Excreción;**

Según Welch et al. (1982), “la excreción puede reducir la concentración de un tóxico que ha sido dispersado, aunque las sustancias químicas pueden eliminarse a través de todos los fluidos fisiológicos, los tres canales principales son la orina, las heces y el aire exhalado”. Los mismos procesos que el organismo utiliza para eliminar los desechos metabólicos endógenos se emplean también en la excreción de xenobióticos.

### **2.5.3.1. Orina**

Dado que eliminan inmediatamente los compuestos peligrosos de la sangre, los riñones son los órganos más importantes en la excreción.

Una sustancia debe ser hidrosoluble para que la orina la elimine. Los compuestos deben sufrir una biotransformación en formas hidrosolubles para poder ser eliminados por este método.

### **3.5.3.2. Heces**

Otro método importante de eliminación son las heces. Los alimentos no absorbidos, las secreciones biliares, las secreciones intestinales y la microbiota forman parte de ella.

No existe una absorción del 100%; cualquier porción de una dosis oral que no se absorba se expulsa con las heces. La flora microbiana tiene la capacidad de bioacumular sustancias, y como parte de este material se excreta en las heces, ayuda a la excreción de tóxicos.

### **2.5.3.3. Bilis**

La excreción de los metabolitos producidos en el hígado se ve favorecida por la bilis. Las sustancias más fáciles de eliminar por esta vía tienen un peso molecular superior a 350. Mediante transporte activo, algunos iones metálicos, ácidos orgánicos, bases orgánicas y sustancias neutras pueden ser transportados a la bilis. Después de generarse en la bilis, entran en el intestino y se expulsan junto con los excrementos. El microbiota intestinal puede biotransformar varias sustancias transportadas por la bilis, y los metabolitos resultantes pueden reabsorberse y transportarse de nuevo al hígado.

## **2.6. Efectos producidos por la contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica afecta a millones de especies en todo el mundo, especialmente a aquellas que viven en los grandes núcleos urbanos y en áreas fuertemente industrializadas, con denso tráfico de vehículos. Las emanaciones de polvos y gases corrosivos deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, para los cultivos y otras formas de vegetación y sobre los materiales de construcción.

<http://www.> “Efectos producidos por la Contaminación Atmosférica”

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica son:



### **2.6.1. Efectos sobre la salud humana.**

Los vínculos entre la exposición ambiental y las enfermedades humanas no están bien definidos ni reconocidos. Pero hay muchas pruebas de que las personas suelen correr riesgos por los altos niveles de contaminación atmosférica.

El aumento de la mortalidad, sobre todo en ancianos o en personas más susceptibles por cualquier motivo, es un claro indicador de las repercusiones sanitarias, como se ha visto, entre otros lugares, en Londres, Nueva York y Osaka. Las consecuencias a largo plazo de la exposición intermitente a altas concentraciones medias y bajas de contaminantes son más difíciles de determinar.

Cabe señalar que, en función de las propiedades físicas y químicas de las partículas, así como de la presencia de otros contaminantes en el aire que pueden tener efectos sinérgicos con ellas, las concentraciones de partículas y SO<sub>2</sub> que pueden tener efectos nocivos para la salud pueden variar de un lugar a otro.

Los niveles elevados de monóxido de carbono (CO) en el aire entrañan riesgos para la salud. La capacidad de la sangre para transportar oxígeno de los pulmones a los tejidos disminuye cuando el CO inhalado se mezcla con la hemoglobina del cuerpo para generar carboxihemoglobina.

Los oxidantes fotoquímicos se encuentran entre los diversos contaminantes que repercuten en la salud humana. Cuando las concentraciones de oxidantes oscilaban entre 0,5 y 0,9 partes por millón, no se descubrió un aumento de la mortalidad en las investigaciones epidemiológicas realizadas en la ciudad de Los Ángeles como consecuencia de incidentes de contaminación fotoquímica. Sin embargo, se ha demostrado que los oxidantes fotoquímicos tienen consecuencias perjudiciales para la salud, ya que irritan las mucosas y los ojos. Cuando las concentraciones de oxidantes atmosféricos eran superiores a 500 microgramos por metro cúbico de aire, se observaron crisis asmáticas y disminución de la función pulmonar. Los oxidantes fotoquímicos son especialmente nocivos para los pacientes con trastornos broncopulmonares y asmáticos.

El ser humano absorbe principalmente compuestos inorgánicos de plomo del aire a través de su sistema respiratorio, y alrededor del 35% del plomo respirado a través de los pulmones llega al torrente sanguíneo. Tras entrar en la circulación, el plomo experimenta un proceso constante de recambio en todo el organismo: una parte se almacena en los huesos y otra se elimina por la orina. Por encima de cierto umbral, puede tener un

impacto negativo en la conducta, dañar el coeficiente intelectual de los niños y provocar anomalías en los fetos de las mujeres embarazadas. Aunque los adultos suelen ser menos sensibles a los efectos del plomo que los niños, una acumulación suficiente en el organismo puede, no obstante, dañar grave e irreversiblemente el sistema neurológico.

### **2.6.2. Efectos sobre las plantas.**

Las plantas muestran una especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del aire, y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal. “Efectos producidos por la Contaminación Atmosférica” (En línea) Dirección URL:

[http://www.mambiente.madrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/Efectos\\_de\\_la\\_Contaminacion.pdf](http://www.mambiente.madrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/Efectos_de_la_Contaminacion.pdf). (revisado en Julio 2016)

Como estos impactos dependen de la composición de la planta y de la especie en cuestión, resulta muy difícil determinar los valores límite de contaminación atmosférica a partir de los cuales empiezan a presentarse.

Debido a su gran toxicidad para la flora, el SO<sub>2</sub> es el más significativo de los diversos contaminantes que suelen estar presentes en el aire ambiente.

La exposición a altas concentraciones de SO<sub>2</sub> durante breves periodos de tiempo o la exposición a concentraciones relativamente bajas durante largos periodos de tiempo puede dañar las plantas.

Las exposiciones de corta duración a altas concentraciones provocan daños agudos. Las coníferas más delicadas pueden sufrir daños por exposiciones medias diarias de 130 microgramos de SO<sub>2</sub> por metro cúbico de aire durante toda la temporada de crecimiento.

La exposición a cantidades inferiores durante largos periodos de tiempo puede provocar daños crónicos.

Las especies forestales sensibles pueden verse perjudicadas por exposiciones medias anuales al dióxido de azufre de 50 microgramos por metro cúbico de aire. Se manifiesta como un amarilleamiento progresivo de la hoja que se extiende desde la zona apical hasta la base de la hoja y se produce por problemas con el mecanismo que produce la clorofila. Se descubren grandes cantidades de sulfato en las hojas de las plantas dañadas junto con síntomas persistentes.

Dado que el flúor y sus derivados suelen ser peligrosos para las plantas en concentraciones extremadamente bajas, se clasifican como contaminantes atmosféricos. Al igual que ocurre con el SO<sub>2</sub>, la susceptibilidad de las plantas a la acción del flúor varía en función de las especies y de los factores ambientales. Las plantaciones de frutales y vides, especialmente las de frutas de hueso (como los melocotones), son especialmente vulnerables a este contaminante. Como tienen hojas perennes y el flúor se acumula en los tejidos hasta superar los umbrales de toxicidad, los árboles resinosos son las especies más sensibles al flúor en el medio forestal. Esta necrosis puede provocar la muerte de grandes masas forestales.

### **2.6.3. Efectos sobre los ecosistemas.**

La acidificación de las aguas interiores tiene efectos muy graves sobre los ecosistemas acuáticos. Se ha demostrado que todos los tipos de organismos integrantes de los ecosistemas de aguadulce son sensibles a la acidificación, produciéndose cambios en todos los niveles tróficos. La acidificación de los lagos y de las masas de agua se está extendiéndose progresivamente cada vez a mayor número de países, afectando día a día a más extensas áreas (Glynn et al., 1999).

Por eso, en la década de 1960, cientos de lagos de Escandinavia empezaron a mostrar los primeros síntomas de los efectos de la precipitación ácida. En la actualidad, más de 18.000 lagos están acidificados, 6.000 de ellos en Suecia presentan daños sustanciales en la biodiversidad acuática, y 2.000 de ellos, en el sur y el centro de la nación, han perdido sus poblaciones de peces.

### **2.6.4. Efectos sobre la estratosfera.**

En particular, los clorofluorocarbonos pueden hacer disminuir la concentración de ozono en la estratosfera cuando están presentes. “Al servir de filtro, la capa de ozono estratosférico protege la superficie del planeta de una exposición excesiva a la radiación ultravioleta del sol, una disminución importante de este escudo sería perjudicial tanto para la salud humana como para el medio ambiente” (Rodríguez et al., 1997).

Este incremento de la radiación produciría un aumento apreciable de casos de cáncer de piel en los seres humanos y efectos negativos sobre los organismos, al ser ciertos tipos de plancton vegetal, animales invertebrados y algunos vertebrados en determinadas etapas de su ciclo vital, especialmente sensibles a la radiación ultravioleta.

## **2.7. Respuesta tóxica de sustancia química del medio ambiente**

### **2.7.1. Caracterización de la respuesta tóxica**

A la hora de determinar el posible peligro causado por una sustancia química en el medio ambiente, es crucial caracterizar los efectos peligrosos o perjudiciales.

La capacidad de lesionar se conoce como toxicidad, y la reacción tóxica es cualquier alteración que provoque un daño celular que no pueda repararse.

He aquí otra forma de decir lo que se acaba de decir: Cuando se altera la homeostasis de una célula, ésta puede cambiar su estado morfológico o morir. “Una célula normal no está en reposo o inactiva. Está cambiando dinámicamente para responder a estímulos o cambios en función. Una célula mantiene su estructura y función dentro de un rango de condiciones fisiológicas, el cual define su homeóstasis normal” (Lee et al., 1989).

#### **2.7.1.1. Daño celular.**

Aunque existen varias dianas celulares para la lesión, estos sistemas suelen unirse y dar lugar a una respuesta celular uniforme. Independientemente de que la fuente del daño sea de origen químico, físico o biológico, la muerte celular procederá según principios comparables.

El conocimiento de las manifestaciones del daño y de las posibles dianas biológicas permite estimar las probables consecuencias negativas, desarrollar alternativas y recomendar actividades terapéuticas y antagonistas para detener o invertir los efectos nocivos.

La creación de ATP mitocondrial, el metabolismo del calcio, la síntesis de proteínas, el control del ADN, la glucólisis y el ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs deben funcionar correctamente en la célula. Estos dos últimos suministran los componentes básicos para la producción de aminoácidos, así como los equivalentes reducidos, cuya oxidación produce la mayor parte del ATP.

Los daños en la membrana plasmática, la síntesis mitocondrial de ATP y la regulación de los niveles de calcio intracelular son vías frecuentes que conducen a la muerte celular y requieren una atención específica.

El control de calcio se puede romper por el incremento del ingreso o por la salida de este ion de sus depósitos celulares. “Los agentes que inducen la entrada de calcio son

metilmercurio que produce poros y el tetracloruro de carbono que rompe la membrana. Los agentes que inhiben la exportación de calcio del citoplasma son inhibidores de la calcio-ATPasa en la membrana celular o en el retículo endoplásmico” (Lee et al., 1989).

### **2.7.1.2. Muerte celular**

Es difícil determinar el umbral a partir del cual una célula ya no puede curarse de un daño. Muchas acciones se consideran reversibles, pero muchas otras son incuestionablemente irreversibles. La incapacidad para curar la disfunción mitocondrial y las anomalías significativas de la función de membrana son los dos fenómenos que se relacionan regularmente con el daño permanente.

#### **Características de las lesiones celulares reversibles**

- Pérdida de ATP que disminuye la actividad ATP-asa en la membrana.
- Hinchazón celular aguda (pérdida del control de volumen).
- Aumento de la velocidad del glicólisis para compensar la pérdida de ATP.
- Desprendimiento de los ribosomas del retículo endoplásmico rugoso.
- Permeabilidad incrementada de la membrana y disminución de la actividad mitocondrial que resulta en el ampollamiento de la superficie celular.
- Mitocondrias normales, ligeramente hinchados o condensados (International Agency for Research on Cancer et al., 1980).

**Apoptosis.** Es posible pensar en la apoptosis como una muerte celular "programada". Un proceso celular normal llamado apoptosis también puede ser provocado por circunstancias malignas. “Algunos ejemplos de procesos apoptóticos fisiológicos típicos son la regresión postparto del útero. Tanto las enfermedades como los daños causados químicamente conllevan apoptosis. En virtud de sus rasgos morfológicos, la apoptosis difiere de la necrosis” (Furst et al., 1983).

La apoptosis es un proceso controlado. El hecho de que se extraiga agua de las células un proceso que no es pasivo hace que éstas se vuelvan más densas. “La membrana celular y los orgánulos no resultan dañados durante el procedimiento, no hay respuesta inflamatoria porque el contenido celular nunca se filtra fuera de la célula” (Furst et al., 1983).

**Tabla 5***Diferencias Morfológicas entre Necrosis y Apoptosis.*

	Necrosis	Apoptosis
La célula completa	Inflamación	Condensación
Núcleo	Picnosis Cariólisis Cariorrhexis	Creciente
Organelos	Degeneración	Intactos
Degeneración celular	Ruptura	Cuerpos apópticos
Inmunorespuesta	Inflamación aguda	Ninguna

Fuente: Furst, et-al (1983).

**Necrosis.** El resultado final de la necrosis es la rotura de la membrana celular y la filtración del contenido celular al espacio intersticial. Esto provoca una reacción inflamatoria en la región, que puede ser depresiva para las células de alrededor.

### **Respuesta de los tejidos a la pérdida de células**

El resultado depende sobre todo del tipo de células que hayan resultado heridas, si la lesión provoca la muerte de las células por necrosis o apoptosis. Es posible que las células cercanas se regeneren fabricando células nuevas equivalentes a las perdidas, o que simplemente las sustituyan por tejido no funcional.

El ciclo celular de las células lábiles nunca entra en una fase de reposo, ya que se dividen constantemente. Las células epiteliales, gastrointestinales y hematopoyéticas son algunos ejemplos. El mismo tipo de células puede utilizarse para sustituir a las que faltan.

**Las células estables** tienen una tasa de reproducción extremadamente baja y están esencialmente inactivas. Se les puede inducir a multiplicarse, aunque su ciclo celular esté generalmente inactivo. Los hepatocitos y las células tubulares renales son dos ejemplos de este tipo de células. Las células adyacentes pueden reemplazar la masa perdida si se produce una lesión, como es el caso de los hepatocitos tras una intervención quirúrgica para extirpar una parte del hígado.

**Las células permanentes** no pueden iniciar un ciclo de replicación, ya que no se dividen. Las neuronas del sistema nervioso central y los miocitos del corazón son dos ejemplos de

este tipo de células son del corazón. “Si estas células se pierden la única respuesta de remplazo es a través de la respuesta fibrótica, las células son remplazadas por tejido conectivo y se forma una cicatriz, el remplazo fibrótico también se puede dar en algunas ocasiones para células lábiles y estables” (Poma et al., 1987).

### **2.7.1.3. Genotoxicidad.**

**Neoplasia se define como "nuevo crecimiento"**. Los tumores y neoplasias, independientemente de su origen celular, son el resultado de un fallo en la reacción a la regulación celular normal.

Se dice que las células neoplásicas sufren una transformación y siguen multiplicándose a pesar de desobedecer las señales reguladoras que guían la proliferación de las células sanas. Las células neoplásicas compiten activamente con las células y tejidos sanos para satisfacer sus demandas metabólicas, de ahí que una neoplasia se desarrolle independientemente de su entorno inmediato. Carcinogénesis molecular.

Las siguientes ideas constituyen la base de la explicación molecular de la aparición del cáncer:

1. El objetivo principal de los carcinógenos es el ADN.
2. Existen varias etapas en la carcinogénesis.
3. Las dianas primarias cuyos daños generan cáncer son los genes reguladores que impiden el desarrollo tumoral y los que favorecen el crecimiento (oncogenes).

Los siguientes datos experimentales lo corroboran: - Muchos carcinógenos o subproductos de los mismos interactúan químicamente con el ADN.

- Muchos mutágenos también son cancerígenos.
- Las personas que tienen problemas con la reparación del ADN son más propensas a padecer cáncer.
- Las aberraciones cromosómicas son frecuentes en la mayoría de los tumores malignos.
- Los oncogenes activados y/o los genes supresores de tumores inactivos están presentes en la mayoría de las neoplasias malignas.

La célula responde a un cambio en la molécula de ADN intentando revertirlo mediante uno de sus procesos de reparación de daños en el ADN. Si falla, el daño en el ADN se considera fijo (un suceso irreversible) y se integra en el genoma hasta que

la célula se reproduce. Así pues, la iniciación celular es independiente de la dosis y puede resultar de la exposición a una sola molécula carcinógena.

La "hipótesis del golpe único" -que sirve de fundamento a muchas normativas actuales- está reconocida por ello. Numerosas sustancias, como el dimetil ibenzantraceno, actúan como iniciadores. MNNG, o uretano NmetilNnitroNnitrosoguanidina como el benzopireno

La proliferación de las células iniciales es un sello distintivo de la progresión, que también se distingue por alteraciones genómicas significativas, como pérdidas cromosómicas y translocaciones. En este punto, las células cancerosas desarrollan características malignas y las alteraciones son permanentes.

Objetivos importantes. Los objetivos del ADN que conducen a la carcinogénesis son bastante particulares. Las alteraciones profundas que hacen que una célula se convierta en maligna no pueden ser causadas simplemente por cualquier modificación en cualquiera de las proteínas codificadas por el genoma. Este tipo de células son altamente especializadas; para poder reproducirse del modo en que lo hacen, deben perder y ganar un número importante de rasgos.

Los genes que inhiben el crecimiento del cáncer y oncogenes. Los oncogenes, que promueven la proliferación celular, y los genes supresores de tumores, que reducen la proliferación celular, son los dos conjuntos de genes de la célula que regulan la reproducción celular.

Los oncogenes son genes muy conservados que producen una serie de proteínas útiles durante el ciclo celular. Uno de estos genes se activa permanentemente o ve aumentado su número de copias como consecuencia de la alteración del ADN, y la célula lo interpreta como una señal para seguir creciendo.

De este modo, limitan el crecimiento. Si alguno de ellos se desactiva, no habrá inhibición del crecimiento y la célula podrá dividirse más rápidamente.

### **2.7.2. Factores que afectan la toxicidad.**

El nivel de toxicidad en un organismo concreto está influido por la exposición (dosis, tiempo, vía y vía de exposición), así como por variables relacionadas con los rasgos del organismo expuesto, el medio ambiente y la propia sustancia:



### 2.7.2.1. Influencia del medio.

posición geográfica. Aunque las causas de las variaciones detectadas siguen siendo objeto de debate, los estudios epidemiológicos han puesto de manifiesto la importancia de esta cuestión. Por ejemplo, incluso teniendo en cuenta la edad, la tasa de mortalidad por cáncer de mama es varias veces mayor en Estados Unidos que en Japón, mientras que la incidencia del carcinoma de estómago es siete veces mayor en Japón que en Estados Unidos. Se cree que las variaciones dietéticas son responsables de ello. Se ha demostrado que la dieta influye en la incidencia del cáncer de mama y de colon.

**Ocupación.** Las exposiciones en el trabajo se han relacionado con muchos tumores malignos. De hecho, existe la hipótesis de que la exposición a determinadas sustancias químicas está relacionada con el desarrollo del cáncer. El médico inglés Percival Pott observó un aumento del cáncer de escroto entre los deshollinadores a finales del siglo XVIII.

Una vez establecidas las cualidades cancerígenas del alquitrán de hulla, se demostró que la causa de este impacto eran los hidrocarburos aromáticos policíclicos, concretamente el benzo alfa pireno (Tabla 6).

**Tabla 6**

*Ocupaciones que Incrementan el Riesgo de Cáncer.*

<b>Personas expuestas</b>	<b>Agente</b>	<b>Tipo de cáncer</b>
Mineros y obreros de la industria química	Arsénico	Piel pulmón e hígado
Albañilesy mantenimiento de edificios	Asbesto	Mesotieloma
Obreros de la industria de hule-cemento	Benceno	Leucemia
Obreros de la industria de hule y colorantes	Betanaftalina	Vejiga
Obreros de la industria del plástico	Cloruro de vinilo	Hígado
Personal de cromadoras	Cr, Ni	Aparato respiratorio

Fuente: International Agency for Research on Cancer, et-al (1980)

### 2.7.2.2. Interacciones químicas.

La toxicidad de una sustancia se puede incrementar o disminuir por la exposición simultánea o consecutiva con otra sustancia. Los efectos combinados pueden ser aditivos, sinérgicos, potenciadores o antagónicos.

El incremento a la toxicidad por interacción química se puede deber a varios mecanismos:

- Una sustancia desplaza a la otra de su sitio de unión con una proteína plasmática, incrementando su concentración en estado libre.
- una sustancia modifica el pH de la orina, modificando la excreción renal de ácidos y bases débiles.
- una sustancia que compita por un mismo sistema de transporte renal puede afectar la excreción de otra.

Otra interacción química de interés es la que resulta de las alteraciones que puede hacer una sustancia a la biotransformación de otra:

- Algunas sustancias son inductoras de las enzimas que metabolizan los xenobióticos,
- La biotransformación también puede inhibirse, lo que, al igual que la inducción, podría alterar la toxicidad. La reducción de la biotransformación y posterior eliminación alarga la semivida del compuesto en el organismo, aumentando su toxicidad si el xenobiótico original es más tóxico que sus metabolitos.
- En otras ocasiones las exposiciones a pequeñas cantidades de una sustancia pueden proteger el organismo contra efectos letales de una sola dosis grande, por ejemplo, “la exposición repetida a dosis pequeñas de compuestos de cadmio puede proteger a la persona contra dosis que pudieran ser letales para un organismo que previamente no hubiera estado expuesto al cadmio” (Vahter et al., 1988).

Como ya se ha establecido, cuando se suministran dos tóxicos al mismo tiempo, las acciones combinadas de los dos tóxicos pueden tener un impacto aditivo, por ejemplo, cuando dos insecticidas organofosforados bloquean la colinesterasa.

Cuando el efecto combinado es mayor que la suma de los efectos individuales, se habla de sinergia. Por ejemplo, los hepatotóxicos tetracloruro de carbono y etanol causan mucho más daño hepático cuando se combinan que cuando se utilizan por separado.

Una respuesta se **potencia** cuando una sustancia que no es tóxica en un determinado órgano blanco, pero que cuando se agrega a otra hace que ésta se vuelva mucho más tóxica, v.g., el isopropanol no es tóxico para el hígado, pero cuando se administra junto con tetracloruro de carbono, incrementa la actividad hepatotóxica de este último compuesto.

Cuando dos sustancias químicas se suministran simultáneamente e interfieren en las actividades de la otra o cuando una sustancia inhibe los efectos de la otra, la reacción es antagónica. Muchos antidotos se basan en reacciones antagónicas. El antagonismo puede ser receptivo, funcional, químico o disposicional. El antagonismo disposicional es la modificación de la absorción, distribución, metabolismo o excreción de un compuesto para acortar su duración o concentración en el lugar de destino, como cuando se absorbe un tóxico con carbón vegetal o ipecacuana. Por último, el antagonismo de receptores se basa en la idea de que cuando dos fármacos se administran simultáneamente al mismo receptor, su acción combinada es menos potente que cuando se administran por separado. Por ejemplo, la naloxona se utiliza para aliviar la depresión respiratoria provocada por la morfina y otros opiáceos. Otro ejemplo es el uso de la atropina para inhibir el receptor de la colinesterasa en el cerebro (Welch et al., 1982).

### **2.7.2.3. Influencia del organismo receptor.**

Los aspectos genéticos (especie, cepa, sexo, individuo) o fisiológicos (embarazo, edad, estado nutricional, estado hormonal, estado de salud) del organismo receptor pueden afectar a la toxicidad de una sustancia.

#### **Influencias genéticas**

La composición genética del individuo determina la presencia o no de una determinada vía metabólica. Estas variaciones genéticas pueden alterar el ADME de una sustancia química en un organismo y, en consecuencia, la respuesta tóxica en circunstancias específicas.

**Género.-** Se ha observado que algunos tóxicos provocan reacciones diferentes según el sexo del organismo expuesto, y algunas de estas variaciones pueden atribuirse a variaciones hormonales entre los sexos y a sus efectos sobre los procesos de absorción, distribución, biotransformación y excreción, en particular la presencia o ausencia de testosterona o estrógenos.

Estas variaciones pueden estar relacionadas con variaciones en la actividad de las enzimas de biotransformación reguladas por hormonas.

En comparación con algunas especies animales de experimentación, como las ratas, las variaciones en el metabolismo de los xenobióticos se ven menos afectadas por el sexo en los seres humanos.

**Tabla 7**

*Tóxicos con susceptibilidad diferente en cada sexo en la rata*

Mayor susceptibilidad en machos	Mayor susceptibilidad en hembras
Plomo	Warfarina
Aflatoxina B1	Estricnina
Epinefrina	Hexobarbital
Vapores de gasolina sin plomo	Paratión

Fuente: (Larramendy et al., 1981).

**Herencia.** - Algunos cánceres son indudablemente hereditarios, mientras que en otros la predisposición contribuye de forma significativa al desarrollo de numerosas neoplasias malignas prevalentes. El retinoblastoma infantil es un ejemplo de neoplasia genética. La vía de transmisión de la predisposición de este tumor es autosómica dominante. Es más probable que se produzca un cáncer cuando existen deficiencias hereditarias en el sistema inmunitario y en la reparación del ADN.

**Tabla 8**

*Cuadro comparativo de Herencia y cáncer*

Cáncer	Tipo de Herencia	Características
<b>Neoplasmas hereditarios</b>		
Retinoblastoma	Dominante	Incapacidad de suprimir tumores.
Liposisadenomatosa	Dominante	Adenocarcinoma del colon.
Neurofrimatosis tipo I	Dominante	Gliomas del cerebro y nervio óptico
<b>Defecto en reparación del ADN</b>		
Xerodermiapigmentosa	Recesivo	No reparación de excisiones.
Anemia de Franconi	Recesivo	No reparación de ligaduras cruzadas
Ataxia	Recesivo	No repara roturas de una cadena.
Agamaglobulinemia	Recesivo	Linfomas y leucemia.
Síndrome linfoproliferativo	Recesivo	Linfomas y leucemia aguda.
Síndrome de cáncer familiar	Dominante	Cánceres de varios órganos

Fuente: Cuzick, et-al (1992).

## **Estado fisiológico**

**Embarazo.** - La acción de las hormonas sexuales se altera significativamente durante el embarazo, lo que repercute notablemente en los efectos nocivos de los fármacos sobre la embarazada y el bebé en crecimiento. Varias enzimas de biotransformación disminuyen su actividad durante el embarazo, lo que repercute en la toxicidad de algunos fármacos (Purizaca, 2010).

La actividad de la monooxigenasa microsomal y del citocromo P-450 en el hígado disminuye durante el embarazo en varias especies. Al final del embarazo, cuando los niveles de cafeína pueden ser hasta tres veces superiores a los que se alcanzan normalmente en las hembras no embarazadas, el retraso en la eliminación de la cafeína en los seres humanos puede deberse a la inhibición del sistema hepático de la oxidasa mixta (Purizaca, 2010).

El flujo plasmático aumenta alrededor de un 25% y la tasa de filtración glomerular, entre un 30 y un 50%. Tras el parto, estas variables vuelven a su estado anterior.

**Edad.** - Se ha demostrado que los neonatos y los animales jóvenes en general son más vulnerables a las toxinas, lo que está relacionado con déficits en una serie de enzimas desintoxicantes. Dado que su capacidad para fabricar glucurónidos aún no ha madurado completamente, los recién nacidos son especialmente susceptibles a la toxicidad del cloranfenicol. No todas las sustancias químicas son más nocivas para los niños de esta edad. Algunas sustancias químicas son menos nocivas para los recién nacidos, en particular los estimulantes del SNC. Se ha demostrado que el DDT tiene una DL50 20 veces mayor en ratas neonatales que en ratas adultas. Los lactantes pueden estar protegidos de este modo de la leche que contiene DDT. La falta de ciertas enzimas de bioactivación es lo que provoca la toxicidad reducida (Tabla 9).

**Tabla 9***Efecto de la Edad en la Toxicidad.***A. Características en los Niños**

- pH neutro y tiempo prolongado de vaciado del estómago
- Reducción en la capacidad renal.
- Aumento en la absorción percutánea.
- Mayor proporción de agua corporal.
- Menor capacidad de formar ligandos con proteínas.
- Menor glucuronidación y actividad microsomal hepática

**B. Cambios Fisiológicos en los Ancianos.**

Múltiples enfermedades:

- Deficiencias nutricionales.
- Alta proporción de grasas.
- Mayor vida media de drogas en el plasma
- Reducción en la eliminación renal.
- Reducción en la capacidad de ligar compuestos a las proteínas plasmáticas.
- Disminución de la absorción gastrointestinal

Fuente: Dong, et-al (1993).

Aparte de las diferencias en biotransformación, hay otros factores que influyen. Ciertos tóxicos se absorben más rápido por los organismos jóvenes. Los infantes absorben de cuatro a cinco veces más plomo y 20 veces más cadmio que los adultos. El subdesarrollo de los mecanismos de excreción produce acumulación de tóxicos y medicamentos en los neonatos. En este estrato etáreo se presenta acumulación de penicilina y tetraciclina y mayor susceptibilidad a la morfina y esto se atribuye a que la barrera sangre-cerebro es menos eficiente.

Los individuos viejos, sean animales o humanos, también son más susceptibles a ciertas sustancias. El efecto de la senectud sobre la toxicidad se ha estudiado muy poco, sin embargo, se considera que se debe a la disminución de la capacidad de destoxificación y a la disminución de la excreción renal. La distribución de los tóxicos también puede cambiar por el incremento en grasa y la pérdida de agua corporal.

El factor de riesgo más importante es la edad. Menos del 10% de las muertes en personas menores de 15 años están causadas por neoplasias, pero más del 50% de las muertes en mayores de 75 años están causadas por cáncer. Se supone que este fenómeno está causado por una pérdida, con el envejecimiento, de la capacidad de reparar los daños del ADN y

de deshacerse de las células alteradas (Cantu et al., 1992).

**Estado hormonal.** - La vulnerabilidad a los tóxicos cambia cuando las hormonas sexuales están desequilibradas. En ratas, se ha demostrado que varios tóxicos tienen efectos diferentes cuando hay hipertiroidismo, hiperinsulinismo, adrenalomía y estimulación del eje pituitario-adrenal. Se ha investigado y comprendido menos el impacto de estas hormonas en la toxicidad que el de las hormonas sexuales.

**Obesidad.** - La obesidad se describe como el hecho de tener más tejido adiposo del habitual para la edad y el sexo de una persona. Además de tener más grasa que las personas de peso normal de la misma edad, estatura y sexo, la mayoría de las personas obesas también tienen más masa de tejido magro. La prevalencia de la obesidad la convierte en un importante problema médico y de salud pública (Poma et al., 1987).

La mayoría de las investigaciones toxicológicas se han realizado en personas de peso normal, por lo que extrapolar los resultados a las personas obesas puede ser arriesgado. Dado que se han sugerido modificaciones de la dosis terapéutica para las personas obesas, se piensa que la evaluación de la toxicidad también debería sufrir una serie de alteraciones similares. “La obesidad no parece tener un impacto en la absorción de toxinas y otros xenobióticos. La obesidad tiene poco impacto en las biotransformaciones como la oxidación, la reducción y la conjugación” (Poma et al., 1987).

**Estado de salud.** - El órgano principal en la biotransformación de venenos es el hígado. Las enfermedades del hígado tienen un impacto significativo en la desintoxicación.

La hepatitis crónica y aguda, la cirrosis hepática y la necrosis hepática disminuyen el potencial de biotransformación, a menudo por alteración de la oxidación, acetilación, glucuronidación y bloqueo de diferentes esterasas.

Al alterar las capacidades metabólicas y excretoras del riñón, los trastornos renales también repercuten en la toxicidad de las sustancias.

Las cardiopatías empeoran la circulación hepática y renal, lo que afecta a los procesos metabólicos y excretorios de estos órganos y eleva la toxicidad.

Las personas con afecciones respiratorias son especialmente vulnerables a contaminantes ambientales como el SO<sub>2</sub>.

Las fluctuaciones de la temperatura corporal alargan la vida media de las toxinas en el organismo.

**Dieta y estado nutricional.** - El metabolismo y la disposición de las sustancias exógenas están influidos por muchos de los ingredientes de los alimentos que ingerimos. Las deficiencias nutricionales pueden hacer que una sustancia química sea más tóxica, y ciertos nutrientes pueden interactuar directamente con los tóxicos antes de la ingestión o dentro del tracto gastrointestinal para reducir la toxicidad.

Las alteraciones en la velocidad de absorción y entrada, la formación de enlaces proteicos competidores, las variaciones en el metabolismo y los procesos de desintoxicación y los ajustes en el aclaramiento renal son sólo algunos de los mecanismos a través de los cuales los nutrientes pueden influir en la toxicidad.

Una de las rutas más importante de biotransformación de tóxicos es catalizada por el sistema de Oxidasas de Función Mixta (OFM) en los microsomas.

La deficiencia en ácidos grasos esenciales reduce la actividad OFM.

La deficiencia de proteínas y el exceso de carbohidratos producen los mismos resultados. La deficiencia de proteínas también afecta las biotransformaciones Fase II, debido a que limita la disponibilidad de cisteína que se necesita para la biosíntesis de PAPS y GSH.

Las proteínas dietarias influyen fuertemente en la respuesta del organismo a muchos compuestos incluyendo plaguicidas y micotoxinas.

Se ha demostrado con animales que una dieta alta en proteínas incrementa la actividad OFM, incrementando la tasa metabólica y la velocidad de eliminación de estas sustancias peligrosas. Las ratas en dieta deficiente en proteínas son más susceptibles a los efectos tóxicos agudos de la aflatoxina B1, un hepatotóxico muy potente. Por otro lado, la deficiencia de proteínas generalmente reduce la tumorigenicidad de los cancerígenos, incluyendo la aflatoxina B1.

En general, la deficiencia en vitaminas A, C y E deprime la actividad de las monooxigenasas y la deficiencia en tiamina produce el efecto contrario.

La deficiencia de vitamina A incrementa la susceptibilidad del tracto respiratorio a cancerígenos.

La deficiencia de una o varias vitaminas del complejo B disminuye la actividad P-450 (algunas de las isoenzimas) y la UDP-glucuroniltransferasa. Las deficiencias de



riboflavinacausan el incremento del nivel de actividad citocromo P-450 y la reducción de la NADPH-citocromo P-450 reductasa.

Los alimentos también contienen cantidades apreciables de compuestos que son inductores de OFM, tales como las flavonas, xantinase índoles. Una dieta rica en índoles produce un incremento de las lasas metabólicas de la oxidación y salida de xenobióticos del plasma. Es posible que la inducción de estas rutas metabólicas inhiba la carcinogénesis.

El DDT y los BPC, en ocasiones presentes en los alimentos como contamináales, son inductores potentes (Furst et al., 1983).

## **2.8. Relación dosis-respuesta:**

La correspondencia entre la cantidad de tóxico y la magnitud del efecto es lo que se conoce como la relación dosis-efecto o dosis-respuesta, es uno de los conceptos centrales de la toxicología.

Lo que se denomina efecto o respuesta tóxica es un cambio orgánico permanente que debe de poder ser medido en el componente bajo estudio y tener un valor de cero cuando la dosis es cero. La medición puede hacerse a diferentes niveles: molecular, celular, órgano, organismo, pero independientemente del nivel, el efecto debe ser medible.

La magnitud y tipo de los efectos adversos producidos dependen de la duración de la exposición.

## **2.9. Índice de toxicidad:**

Los parámetros toxicológicos utilizados en la evaluación de riesgos se denominan índices de toxicidad y se obtienen mediante estudios dosis-respuesta. Se utilizan diferentes métodos para estimar los índices de carcinógenos y no carcinógenos. Las dosis administradas calculadas en los estudios de exposición peligrosa en el medio ambiente se comparan con los valores de estos parámetros.

### **2.9.1 Efectos cancerígenos**

La mayoría de las investigaciones experimentales para determinar la capacidad de una sustancia para provocar cáncer se llevan a cabo en animales de laboratorio a concentraciones del carcinógeno muy superiores a las que pueden estar presentes en las exposiciones a tóxicos ambientales. Esto se hace porque las investigaciones a largo plazo requieren lotes experimentales muy grandes a dosis bajas. En las investigaciones de

carcinogénesis experimental se utiliza la dosis máxima tolerada, que es la dosis que un animal de laboratorio puede soportar sin mostrar síntomas de intoxicación que produzcan estados de enfermedad distintos del cáncer.

## **2.10. Análisis de riesgos**

Según, Peña et al. (2001), el análisis de riesgos es una disciplina relativamente nueva con raíces antiguas, su auge se debe a que varios países han aprobado leyes para proteger, tanto a la salud humana como a la biota, de los peligros que puede acarrear la exposición a sustancias peligrosas presentes en el medio ambiente en base a la prevención y reducción de riesgos.

El análisis de riesgos es una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, psicología, higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental, etc.

El análisis de riesgos sirve para:

- Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas.
- Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- Localización de instalaciones potencialmente peligrosas.
- Selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales.

### **2.10.1. Conceptos básicos**

**Evaluación de riesgos** se refiere a la técnica para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo.

**Análisis de riesgo** se ha usado frecuentemente como un sinónimo de evaluación de riesgos. Debe de interpretarse que además de la evaluación, el análisis incluye los métodos para hacer un mejor uso de los resultados de la evaluación.

**Manejo de los riesgos** se diseña la respuesta de control, reducción o eliminación de riesgos utilizando la información producida por la evaluación y el análisis, en el contexto de los recursos técnicos, valores sociales, económicos y políticos.

Los riesgos se perciben de forma diferente en función de quién se vea afectado, de la probabilidad de que se produzca el daño, de las características del daño, como su grado de catástrofe, de lo acostumbrada que esté la población a ese tipo de daños, de la proporción de la población afectada, del grado de afectación personal de cada persona y de si ha aceptado voluntariamente afrontar los riesgos (Bonet et al. 1991).

### **2.10.2. Uso de los análisis de riesgo.**

Las técnicas de análisis se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio incluyendo:

- La introducción o el descubrimiento de una sustancia en el ambiente.
- La exposición ocupacional a una sustancia o radiación.
- Contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior
- Disposición de residuos peligrosos.
- Presencia de sustancias peligrosas en la cadena alimentaria.
- Instalaciones que manejan o crean sustancias tóxicas.
- El análisis de riesgos también se puede aplicar a muy diferentes situaciones, por ejemplo, el riesgo asociado al uso de un producto farmacéutico.
- O tratamiento médico, a la construcción de obras tales como presas y puentes, etc.

### **2.10.3. Metodologías y técnicas.**

El análisis de riesgos usa una serie de técnicas que se aplican cuando las respuestas no son obvias y la información es ambigua e incierta. Se utilizan las herramientas de la ciencia, la ingeniería y la estadística para analizar la información relacionada con los riesgos y, para estimar y evaluar la probabilidad y magnitud del riesgo ambiental y de la salud.

El análisis de riesgos no proporciona una fórmula para tratar la problemática de riesgos. No resuelve las complicadas negociaciones políticas y sociales que se tienen que hacer en la toma de decisiones sobre riesgos. Lo que sí mejora es la capacidad de los científicos y tomadores de decisiones en la identificación, evaluación, control y reducción de riesgos asociados con actividades del hombre.

El proceso de análisis de riesgos se puede pensar como formado de cuatro fases interrelacionadas, cada una con ciertos métodos y técnicas.

#### **2.10.3.1. Identificación del peligro.** - la pregunta es: ¿existe el peligro?

Para contestar esta pregunta se tiene que recurrir a la lexicología, la cual hace uso de

estudios epidemiológicos, estudios in vivo en modelos animales, pruebas realizadas in vitro utilizando cultivo de células y de tejidos, así como estudios de estructura/actividad.

**2.10.3.2. Evaluación de riesgos.** -Esta fase tiene como meta estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia, que bajo circunstancias es probable que pueda causar daño a la salud humana o al ambiente. Se usan cuatro técnicas, aunque distintas, están muy relacionadas: evaluación de la fuente/mecanismo de emisión, evaluación de la exposición, evaluación de dosis/respuesta y caracterización del riesgo.

**2.10.3.3. Determinación de la significancia del riesgo.** -La fase involucra juicios y negociaciones para resolver la cuestión de qué nivel de riesgo es tolerable. Se cuenta con varias técnicas para contestar esta pregunta, incluyendo el análisis de la percepción del riesgo, el análisis de costo/beneficio y análisis de decisiones. Como en el caso de la evaluación de riesgos estas técnicas proporcionan un mejor conocimiento del fenómeno, pero también involucran incertidumbres.

## **2.11. Comunicación de riesgos**

En esta fase, las partes interesadas comparten o transmiten conocimientos sobre los niveles de peligrosidad para el medio ambiente o la salud, su relevancia y las distintas decisiones, acciones o políticas que pueden adoptarse para reducir o gestionar los riesgos. Los medios de comunicación, a los que se ha culpado de exagerar los peligros y dar prioridad al dramatismo sobre la ciencia, son el principal medio de comunicación de riesgos.

### **2.11.1. Estimación de la exposición**

Los tóxicos preocupantes son los que potencialmente pueden entrar en contacto con las poblaciones humanas, dondequiera que se encuentren. La vía de exposición es un término utilizado para describir cómo los tóxicos migran a través del medio ambiente.

**2.11.1.1. Escenario de exposición.** - El escenario de exposición es la región geográfica que incluye el lugar donde los tóxicos se vierten o emiten al medio ambiente, donde se transportan y donde las personas entran en contacto con el medio contaminado.

La descripción fisicoquímica del lugar y la descripción de las poblaciones con más probabilidades de estar expuestas constituyen las dos secciones principales del análisis del escenario.

**2.11.1.2. Descripción del sitio.** El lugar se caracteriza en términos de factores que pueden afectar al movimiento de los tóxicos y al grado de contaminación.

El clima, la vegetación, la topografía, la edafología (composición y estructura del suelo) y la geohidrología (estratos subterráneos, acuíferos de aguas subterráneas y corrientes superficiales) son aspectos físicos significativos del escenario de exposición (Enkerlin et al., 1997).

La humedad, el pH, el contenido de carbono orgánico y la existencia de intercambiadores de iones adicionales son los mejores parámetros para describir el suelo y el subsuelo. Tales variables se incluyen en los modelos que describen el transporte de tóxicos en esta capa. La formación de polvos transportables puede predecirse con el uso del conocimiento del tipo de suelo.

Según Cantu et al. (1992), los datos climatológicos permiten evaluar la permanencia de los tóxicos en el medio ambiente, los posibles desplazamientos de polvo y gases transportados por el viento y los desplazamientos en las corrientes superficiales.

La identificación y cuantificación de las “sustancias químicas que se detectan en uno o varios medios del emplazamiento o que pueden salir de él y se sabe que son peligrosas para las personas son características químicas importantes, la información se recopila experimentalmente sobre el terreno examinando los numerosos medios que podrían utilizar las personas” (Según Pea et al., 2001).

**2.11.1.3. Descripción de las poblaciones.** - Aunque puedan estar alejadas de la fuente de contaminación, a la hora de describir las poblaciones se tienen en cuenta los asentamientos humanos alrededor y dentro del emplazamiento, así como los que podrían estar expuestos en el futuro.

Las poblaciones distantes que no están en contacto directo con los entornos contaminados, pero que deben tenerse en cuenta en un estudio de evaluación de riesgos, son las que se consideran susceptibles de estar expuestas. Esto podría deberse a sus actividades o hábitos alimentarios, o a que los tóxicos podrían migrar en el futuro a lugares donde estas poblaciones constituirían un nuevo escenario de exposición. Si su lugar de trabajo o vivienda está localizado, tiene más probabilidades de estar expuesto a los tóxicos:

- Cerca de la fuente.
- En la dirección de los vientos dominantes.

- Aguas abajo de las corrientes superficiales.
- En la dirección del flujo de los acuíferos subterráneos.

También son importantes:

- Las poblaciones que consumen productos generados o que se contaminaron en el sitio, independientemente de su posición geográfica.
- las poblaciones que en el futuro pudieran estar expuestas a sustancias que hayan emigrado del sitio.

Las subpoblaciones especiales son las más susceptibles de sufrir un daño al quedar expuestas a un determinado agente debido a:

- Que tienen una mayor sensibilidad, tales como, niños, ancianos, mujeres embarazadas o en período de lactancia y personas con enfermedades crónicas.
- Que presentan un patrón de comportamiento que puede dar lugar a una mayor exposición. Un ejemplo son las personas que consumen cantidades grandes de alimentos producidos en el sitio. Otro ejemplo son los niños quienes tienen una probabilidad más alta que los adultos de entrar en contacto directo con el suelo, etc.
- Quienes se han sensibilizado por exposiciones anteriores o que experimentan exposiciones simultáneas provenientes de otras fuentes. Por ejemplo: individuos expuestos a sustancias químicas en su trabajo y residen o residieron en sitios contaminados.

Las inspecciones in situ y el análisis de fotografías aéreas que muestran zonas habitadas, zonas de recreo, parques, empresas e industrias, agricultura, ganadería y pesca son las mejores formas de conocer los usos actuales del suelo. Algunos de los terrenos podrían utilizarse para varios fines y clasificarse bajo diversos epígrafes.

Con el fin de clasificar el patrón de actividades y su impacto en la intensidad, frecuencia y duración de las exposiciones, la categorización del uso del suelo sirve para los siguientes propósitos:

- Calcule la proporción de tiempo que la población pasa en el escenario de exposición. Es realista prever que la población estará expuesta al lugar durante ocho horas al día si es comercial o industrial. Puede suponerse que habrá una exposición constante si el lugar es residencial.
- Reconocer cómo varían las actividades con las estaciones.
- Averigüe si la población local tiene acceso ilimitado al lugar.

- “Describa los rasgos de la población a los que podría afectar el lugar, la población local puede consumir más pescado y marisco que la población general, por ejemplo, si el lugar es pesquero” (Higgins et al., 1982).

### **2.11.2. Ruta de exposición.**

La ruta que sigue un agente desde su fuente de emisión hasta el contacto con poblaciones que han sido previamente identificadas como potencialmente expuestas - incluida la ruta que sigue el agente para entrar en los organismos expuestos- se denomina ruta de exposición. Una ruta está completa si existe la liberación de una sustancia desde una fuente, un lugar donde podría producirse una exposición y una vía de exposición o pago.

**2.11.2.1. Descripción de la ruta de exposición.** - A continuación, se ofrece una explicación de cada componente de una ruta show típica completa.

La fuente. La ubicación de la fuente y los métodos de emisión son sus aspectos más importantes. Utilizando datos de muestreo y el conocimiento general del lugar, se localiza y describe. Por ejemplo, la presencia de suelo contaminado junto a un tanque puede ser señal de que la fuente -el tanque roto- se filtró al medio receptor: el suelo. Si los organismos receptores están en estrecho contacto con la fuente, ésta podría ser potencialmente un punto de contacto.

Otro medio puede contaminarse como consecuencia de uno ya contaminado. Un acuífero subterráneo, por ejemplo, puede verse afectado por una región del subsuelo contaminada por una fuga anterior. destino y transporte. Una vez que la sustancia ha sido liberada, puede hacer una de las siguientes cosas:

- Acumularse en uno o más medios, incluido el medio receptor;
- Ser transportada por una corriente de agua;
- Disolverse o suspenderse en algún sedimento;
- Ser transportada por los vientos;
- Estar en estado gaseoso;
- Estar en el polvo;
- Cambiarse físicamente (volatilización; precipitación);
- Cambiarse químicamente (fotólisis; hidrólisis; oxidación; reducción; etc.).
- Es necesario conocer las cualidades físicas, químicas y del medio o medios de transporte de un material para examinar cómo se distribuye esa sustancia en el medio ambiente.

Cuando no se dispone de datos exhaustivos de muestras ambientales en un lugar

concreto, pueden utilizarse modelos para analizar la cinética de los tóxicos en cualquier punto del trayecto, sobre todo para predecir las fluctuaciones de la concentración del tóxico en el punto de contacto.

Vías de exposición. La vía de exposición es el proceso a través del cual el tóxico entra en el organismo y el último componente de la vía de exposición. En el caso de las exposiciones ambientales, el contacto con la piel, la ingestión y la inhalación son las vías de exposición. El medio en el que está presente el tóxico en el lugar de contacto afecta a la elección de las vías de investigación. La vía de exposición es la ingestión si está presente en el agua potable, los alimentos o el suelo; la inhalación si está presente en gases, vapores o partículas en suspensión en el aire; y la entrada cutánea si está presente en el agua o el aire ambiente que entra en contacto con la piel.

Aunque haya un punto de contacto, “los equipos de protección están pensados para detener una vía de exposición. Por ejemplo, el uso de guantes, mascarilla y botas son barreras que impiden que el tóxico penetre en el organismo que ha estado en contacto con ellos” (Peña et al., 2001).

## **2.12. Caracterización de riesgos**

Determinar si la cantidad de riesgo de daño asociado a la exposición a los tóxicos presentes en el lugar es tolerable para caracterizar los problemas de salud pública en un lugar contaminado. Evaluar las exposiciones de la población implica: - Elegir las poblaciones que se cree que están en riesgo, identificar los tóxicos que pueden dar lugar a estos peligros y establecer las circunstancias de exposición.

- Calcular las dosis suministradas o absorbidas para cuantificar las exposiciones que se producen.
- Evaluar la eficacia de los resultados de la estimación de la exposición.
- Por otro lado, se evalúa la peligrosidad de los tóxicos presentes, lo que conlleva, a obtener índices de toxicidad para todos los tóxicos elegidos en la evaluación de la exposición que sean adecuados y se basen en información creíble.
- Calificar la calidad de la información obtenida.

En la mayoría de los sitios contaminados, los individuos están expuestos a varios tóxicos al mismo tiempo y cada uno de los tóxicos puede llegar a hacer contacto con las poblaciones por más de una ruta.



### **2.12.1. Evaluación de la exposición**

Estos datos son necesarios para realizar una evaluación de riesgos.

#### **2.12.1.1. Información incluida**

A continuación, se indican los resultados de la evaluación de la exposición necesaria:

- Concentraciones químicas de todas las sustancias químicas potencialmente nocivas en el lugar de exposición.
- Frecuencia y duración de la exposición.
- Clasificación de las exposiciones observadas por vía de exposición (oral, inhalación y cutánea) y tiempo de exposición (crónica, subcrónica y aguda).
- Características de la población expuesta identificando subpoblaciones especiales.
- Características del sitio
- Descripción de las rutas de exposición significativas.

#### **2.12.1.2. Calificación de la Información.**

La evaluación de la exposición involucra la toma de varias decisiones que influyen substancialmente en la calidad de los resultados. Los aspectos más importantes son:

- **Definición del escenario físico.** - Las decisiones que se toman en este paso están basadas; en la información que se tenga sobre el área y en la experiencia del evaluador de riesgos. En primer lugar se tiene que asignar la categoría de uso actual y potencial del suelo, en base a la información recabada por observación directa del sitio y en los servicios de información gubernamental sobre planes de desarrollo, reglamentación del uso del suelo) zonificación. Las dosis estimadas son diferentes, dependiendo de si el sitio es residencial, si se va convertir en residencial dentro de un plazo de 10 años o si es o se va a convertir en comercial/industrial/agropecuario, etc. Las exposiciones probables son de muy distinta duración y frecuencia. En segundo lugar, en base a la información de muestreo ambiental y el conocimiento que se tenga sobre la peligrosidad de los tóxicos ambientales detectados, se tiene que seleccionar la lista de sustancias de interés y las rutas de exposición significativas que existen realmente. En base al estudio de campo, usando modelos de transporte y destino se seleccionan las rutas que se puedan esperar para el futuro.

- **Análisis.** - Idealmente se debería hacer un seguimiento a lo largo de todo el proceso de evaluación de riesgo de cada una de las incertidumbres asociadas al cálculo de las exposiciones y así caracterizar sus efectos sobre los resultados finales. A continuación, se describen algunas formas de cómo evaluar las incertidumbres en forma cuantitativa, semicuantitativa y cualitativa.
- **Método cuantitativo.** - El método cuantitativo se puede aplicar cuando los modelos son sencillos y se conocen bien los valores de los parámetros de insumo. En este caso, el primer paso será la caracterización de las distribuciones de probabilidades de los valores de las variables y, el segundo será el estudio de la propagación de las incertidumbres de los valores de las variables, a través del proceso de cálculo, usando métodos analíticos (series de Taylor de primer orden) o por métodos numéricos (simulación Montecarlo) (Poma et al., 2001).

Los métodos analíticos son posibles cuando se trata de pocas variables con distribuciones conocidas y de funciones lineales. En los casos más complejos se usan los métodos numéricos.

Los análisis de primer orden, con series de Taylor, están basados en la suposición de que la varianza total de la variable de salida del modelo, es una función de las varianzas de las variables individuales de entrada al modelo y que la sensibilidad de la variable de salida es una función de las variables de entrada. La sensibilidad de la variable de salida se define como la primera derivada de la función o modelo. La derivada se puede generar en forma analítica o numérica.

En la simulación Montecarlo se estima una distribución de exposiciones o riesgos por medio de la resolución repetitiva de las ecuaciones del modelo. Se necesita definir la distribución de probabilidades para cada variable del modelo. De la distribución de riesgos que resulta se puede seleccionar un determinado percentil (por ejemplo, el 95 en el caso de distribución de exposiciones).

Las técnicas cuantitativas requieren de la definición de las distribuciones de todas las variables de entrada y de la covarianza que existen entre ellas. El

valor de estos métodos disminuye rápidamente, si no se conocen bien las distribuciones de una o más variables y, si se tienen que suponer los valores y las distribuciones de algunos de los parámetros.

**Métodos semicuantitativos.** “Los rangos dentro de los cuales los parámetros toman valores pueden conocerse aunque la información de que se dispone en la actualidad sea a menudo insuficiente para representar la distribución de valores de las variables” (Lee et al., 1989).

**Método cualitativo.** La mayoría de las veces, ésta es la mejor manera de presentar el análisis. Simplemente se destaca el impacto potencial de estas incertidumbres en la evaluación final del riesgo basándose en su comprensión de cada modelo y se especifica la incertidumbre de cada parámetro en forma numérica o cualitativa.

A continuación, se resume la información y cualquier incertidumbre relacionada con ella, lo que resulta útil tener a mano cuando se realiza este tipo de análisis:

- Lista de los parámetros de evaluación de la exposición tales como:
- Velocidad de infiltración, duración de la exposición, factores de bioconcentración, peso corporal, etc.
- Lista de los valores usados para cada parámetro y la razón para seleccionar ese valor.
- Distribución de valores de cada parámetro sean estos medidos o supuestos, considerando, si es posible, los siguientes: rango total, tipo de distribución, media (geométrica o aritmética), desviación estándar y percentiles específicos (mediana, percentil 95).
- Incertidumbre en valores estadísticos usados en la evaluación de riesgos (por ejemplo, el error estándar de la media) o la falta de datos y calificadores.
- Dirección y magnitud potencial de las desviaciones en las estimaciones de riesgos introducidas por las suposiciones hechas y por la falta de datos.

### **2.12.2. Evaluación de la toxicidad.**

“La elección de los valores aceptables de los parámetros, junto con la certificación

de la calidad de la información, determina el grado de nocividad de los compuestos tóxicos presentes en el lugar. El índice de toxicidad es la variable que se emplea en el análisis de riesgos” (Lee et al., 1989).

#### **2.12.2.1. Información sobre toxicidad.**

El proceso de evaluación de riesgos depende en gran medida de los datos sobre toxicidad, pero estos datos son escasos y difíciles de evaluar. Se necesita experiencia para derivar y comprender los índices de toxicidad.

La EPA recopila datos sobre si una sustancia concreta tiene potencial para ser peligrosa (cancerígena o no). Estos datos pueden proceder de investigaciones clínicas, investigaciones farmacotológicas con animales de experimentación, estudios epidemiológicos controlados, así como datos complementarios de estudios in vitro y estudios de estructura-actividad.

La EPA ha completado el análisis de los datos lexicológicos de alta calidad disponibles y los ha recopilado en una serie de tablas electrónicas para su uso en línea o en revistas. Las fuentes más fiables de datos sobre el índice de toxicidad son estas tablas. Las más importantes son:

**Plataforma IRIS** Una base de datos denominada IRIS (Integrated Risk Information System) dispone de datos actuales sobre toxicidad y normas de uso de numerosos medicamentos. Se puede obtener a través de la página web de la EPA y sólo se puede consultar en línea.

**Tablas para HEAST.** Las DdR, los factores de pendiente provisionales y otros datos de toxicidad de algunas sustancias químicas se incluyen en las tablas HEAST (Health Effects Assessment Summary Tables). Disponen de bibliografías de estudios de toxicidad. Cuando IRIS no incluye la información necesaria, estas tablas son bastante útiles. Las tablas se publican cuatro veces al año.

**otros documentos.** Cuando no se encuentre información sobre la toxicidad de la sustancia de interés en las fuentes mencionadas, pueden examinarse otras publicaciones que ofrecen información general, como las que establecen normas sobre la calidad del agua potable y la pureza del aire.

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) publica la serie de materiales Perfiles Toxicológicos. Incluyen información general sobre toxicidad,

así como niveles de exposición para letalidad, cáncer, genotoxicidad, neurotoxicidad, toxicidad para el desarrollo y la reproducción, inmunotoxicidad y toxicidad sistémica (hepática, renal, respiratoria, cardiovascular, gastrointestinal, hematológica, musculoesquelética y dermo/ocular). “Los Perfiles incluyen detalles sobre los efectos peligrosos observados en personas y animales, desglosados por vía de exposición y marco temporal (agudo, intermedio, crónico), los perfiles también incluyen capítulos sobre características fisicoquímicas y técnicas analíticas” (Fierz et al., 1999).

### **2.12.3. Selección de índices de toxicidad.**

La determinación de los índices de toxicidad que se utilizarán para calcular los efectos relacionados con las exposiciones concretas que se van a evaluar se realiza una vez recopilados los datos de toxicidad de las sustancias pertinentes.

En primer lugar, se eligen los siguientes en función de la información generada sobre las exposiciones:

- Factores de pendiente de carcinógenos.
- Las DdR para reacciones a tóxicos para el desarrollo y no carcinógenos.

Los índices se eligen en función de las circunstancias presentes en el lugar:

- Tiempos de exposición (aguda, subaguda o crónica).
- Vías de exposición (oral, inhalatoria y cutánea).

#### **2.12.3.1. DdR para Efectos no-cancerígenos:**

Utilizados:

- DdR crónicas tras exposiciones que duran más de 7 años.
- DdR subcrónicas para dosis que duren entre dos semanas y siete años.
- HAs de un día y diez días para exposiciones orales que duren menos de dos semanas. Las HA de un día pueden utilizarse para exposiciones de hasta cinco días, y las de diez días para exposiciones de hasta dos semanas, según la EPA.
- Se recomienda el uso de DdR de desarrollo para exposiciones únicas y exposiciones que duren menos de un día.

Puede utilizarse más de una DdR para distintos fármacos y exposiciones.

Las DR para algunos carcinógenos deben localizarse, ya que también pueden tener efectos no carcinógenos. No debe preverse que la protección contra la carcinogenicidad resulte de las DdR para carcinógenos, que se derivan para efectos no carcinogénicos.

### **2.12.3.2. Factores de pendiente para efectos cancerígenos:**

En esta fase de la evaluación de la toxicidad se determinan los índices pertinentes para evaluar los riesgos potenciales de carcinogenicidad relacionados con las exposiciones examinadas. En primer lugar, se identifican las vías de exposición a los probables carcinógenos utilizando los resultados de la evaluación de la exposición. Para \*\* los agentes identificados, se calculan los factores de pendiente utilizando las jerarquías de fuentes mostradas anteriormente. Todas las sustancias identificadas como carcinógenos humanos conocidos o sospechosos en el lugar deben tener el  $q_1^*$ .

### **2.12.3.3. Información contenida en la evaluación de la toxicidad:**

En la evaluación de la toxicidad deben incluirse los siguientes detalles:

- Factores de pendiente para cada carcinógeno.
- Agrupación de todos los carcinógenos según la solidez de las pruebas.
- El tipo de cáncer causado.
- DdR a largo plazo, a corto plazo y crónicas para todos los compuestos, incluidos los carcinógenos.
- Efectos importantes que constituyen la base de las DdR.
- Un análisis de las incógnitas. Cada DdR se obtuvo utilizando FL y FM, con distintos niveles de fiabilidad (alta, media y baja).
- Indicar si se utilizan dosis dadas o dosis absorbidas para construir los índices de toxicidad.
- Información farmacocinética para apoyar las extrapolaciones entre humanos y animales.
- Errores en la extrapolación de una vía a otra.

### **2.12.4. Estimación de riesgos.**

El riesgo se determina de forma diferente para los agentes carcinógenos y los no carcinógenos, como ya se ha señalado. Dividiendo el valor de la dosis suministrada por cada vía por el valor de la dosis de referencia, se determinan los cocientes de peligrosidad de esta última. Para calcular el riesgo de cáncer, la dosis suministrada debe determinarse para exposiciones a lo largo de toda la vida (70 años).

#### **2.12.4.1. Prueba de validez y coherencia.**

Las estadísticas comparadas en el cálculo del riesgo deben ser precisas y coherentes entre sí. “Para cada tóxico y vía de exposición considerados, es necesario verificar la

exactitud de las presunciones clave utilizadas con mayor frecuencia, estas presunciones incluyen las vías de exposición, los tiempos medios de exposición y las correcciones de absorción” (Dong et al., 1993).

**Vía de exposición.** Debe comprobarse que los niveles de toxicidad de cada vía de exposición coinciden con el punto de entrada de la toxina ambiental en el organismo (por ejemplo, oral con oral, inhalación con inhalación, etc.). Es imposible extrapolar los índices de toxicidad de una vía a otra cuando las sustancias químicas afectan al sistema de entrada. Por ejemplo, cuando sólo se observa exposición cutánea en la localización, un índice de toxicidad basado en la prevalencia de cánceres localizados en los pulmones, sólo por inhalación del fármaco, no será aceptable para el cálculo del riesgo. Actualmente, la EPA sólo considera adecuada la extrapolación a la exposición cutánea, los índices establecidos y las exposiciones orales.

**Ajustes a la absorción.** La expresión de las exposiciones y los índices de toxicidad como dosis administradas o dosis absorbidas debe comprobarse en ambos casos. Los índices de las tablas de la EPA corresponden a dosis administradas, a excepción de las exposiciones cutáneas. Los índices se estiman utilizando dosis absorbidas para las exposiciones cutáneas.

Dependiendo de los datos de toxicidad disponibles, es necesario realizar cambios para convertir de un tipo de dosis al otro. Los miligramos de sustancia absorbida por kg de peso corporal y día se utilizan para indicar la evaluación de la exposición cutánea.

### **2.13. Proyecto de remediación**

Según, Peña et al. (2001), “la limpieza de un sitio que contenga sustancias tóxicas sólo se justifica si la presencia de los tóxicos representa un peligro para la salud de la población, esto quiere decir que antes de proceder a eliminar o controlar las sustancias tóxicas en el ambiente”. Por lo que se deben evaluar los riesgos que representan, si no se les controla en forma adecuada.

La restauración ambiental de un sitio contaminado, o sea la reducción de las exposiciones a niveles tolerables, puede ser un trabajo muy grande y de alto costo cuya magnitud depende fundamentalmente de lo siguiente:

- características del sitio
- aspectos legales y normativos
- disponibilidad de tecnologías adecuadas para tratar el problema.

Así pues, el proceso de limpiar un sitio debe estar perfectamente justificado y diseñado con todo cuidado.

Antes de iniciar trabajos de restauración ambiental es necesario hacer un proyecto que defina el proceso que se va a seguir y, estime la relación costo/beneficio de la restauración.

El desarrollo del proyecto suele incluir trabajo de campo en el lugar contaminado, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

La caracterización de la situación de exposición sobre el terreno implica la toma de muestras del lugar y la identificación de poblaciones posiblemente amenazadas.

El análisis de muestras medioambientales y la realización de pruebas de trazabilidad en muestras de medios contaminados que deben limpiarse son las dos tareas principales del trabajo de laboratorio.

Obtener y analizar información, elegir y utilizar modelos matemáticos para prever las características y el movimiento de compuestos peligrosos constituyen la mayor parte del trabajo de gabinete.

Toxicólogos, químicos, médicos, meteorólogos, geólogos, hidrólogos y otros profesionales con profundos conocimientos sobre evaluación de riesgos y descontaminación ambiental son sólo algunos de los especialistas que deben contribuir a la labor multidisciplinar de elaboración de proyectos de descontaminación.

### **2.13.1. Estructura del proyecto.**

El proyecto de restauración consta de los siguientes estudios (Peña et al., 2001):

- Visión global del proyecto
- Investigación para la restauración
- Estudio de viabilidad

#### **2.13.1.1. Visión global del proyecto.**

El propósito de este estudio es definir, con la información disponible antes de hacer trabajo de campo, la extensión y tipo, de investigación y análisis que se deben de realizar en un sitio dado (Peña et al., 2001).

#### **2.13.1.2. Investigación para la restauración (IR).**

Se define como IR, al trabajo que se necesita para producir y/o captar la información relevante para el estudio de caracterización de riesgos.

La investigación para la restauración, no es un proyecto de investigación



científica que pretenda la descripción a detalle de la fisiografía del sitio y la sociología de las poblaciones humanas relacionadas con él. Sólo se pretende la obtención de la información indispensable para determinar si el sitio debe ser intervenido y en su caso, cómo debe hacerse esa intervención (Peña et al., 2001).

### **2.13.1.3. Estudio de viabilidad (EV)**

En el EV se determina la factibilidad técnica y económica de alcanzar el objetivo de restauración ambiental, o sea eliminar, reducir o controlar la presencia de los tóxicos en el sitio de estudio, para que no presenten riesgos mayores para la salud pública que los socialmente aceptables (Peña et al., 2001).

#### **El Estudio de viabilidad consta de las siguientes partes:**

- Establecimiento de los objetivos de la restauración
- Desarrollo de alternativas de restauración
- Selección preliminar de las alternativas tecnológicas
- Análisis detallado de las alternativas seleccionadas.

### **2.13.2. Información generada por el proyecto de restauración.**

La decisión de qué opciones técnicas deben tenerse en cuenta en las VA se ve influida por la información recopilada en las RI. Por otra parte, el volumen y el tipo de información que debe crearse en las IR se ven influidos de forma significativa por la elección del conjunto de tecnologías que deben evaluarse en las VA.

#### **Durante el proyecto de restauración se generaron los siguientes datos:**

- Evaluación técnica de los riesgos que plantea un vertedero de residuos peligrosos no gestionado.
- Identificación de posibles vías de exposición
- Evaluación de las opciones de restauración, incluidos los beneficios e inconvenientes comparativos
  - Elección de la mejor opción, que incluye el análisis de los criterios de selección (Peña et al., 2001).

### **2.14. Estudios de viabilidad**

Los estudios de viabilidad (EF) ofrecen un examen de las opciones de restauración, incluida una comparación de las ventajas e inconvenientes de cada tecnología y los factores que llevaron a los investigadores a elegir una opción de restauración en

lugar de las demás.

### **2.14.1. Determinación de los objetivos de protección.**

La determinación de los objetivos de las actividades de restauración es la primera etapa en el desarrollo de las VA. Éstas tienen que concentrarse en los contaminantes y medios de interés en el lugar, la identificación de las vías potenciales de exposición y los objetivos preliminares de restauración especificados.

#### **2.14.1.1. Definición de las metas preliminares de restauración (MPR).**

Los MPR ofrecen los objetivos a largo plazo en el análisis y la elección de las opciones de restauración. Estos objetivos deben crearse para:

- Satisfacer los requisitos aplicables, pertinentes y apropiados (RARA). Los RARA son los límites de concentración impuestos por muchas normas medioambientales, como los niveles máximos permitidos en el agua potable, etc. Pueden variar de un país a otro. Pueden variar de un país a otro.
- reducir los peligros residuales a niveles aceptables para la protección de la salud pública (<https://www.nueva-iso-14001.com/2017/08/iso-14001-establece-politica-ambiental/>)

##### **2.14.1.1.1. Aspectos legales.**

La legislación y la normativa medioambientales establecen los requisitos que deben cumplirse durante el proceso de restauración. El Ministerio de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, el Ministerio de Sanidad y el Ministerio de Trabajo han creado criterios de calidad ambiental que deben cumplirse en el caso de Perú. los departamentos de Pesca y Recursos Naturales, Sanidad y Trabajo.

El Plan Nacional de Contingencia (PNC) es el nombre de la legislación que establece estos principios en el caso de Estados Unidos. La Sección 300.450 del NCP da instrucciones sobre cómo determinar los niveles de contaminación que deben alcanzarse a lo largo del procedimiento de remediación medioambiental.

Para elegir una técnica de descontaminación, el NCP establece nueve criterios de evaluación, incluidos dos criterios de tolerancia que especifican las cantidades toleradas de tóxicos que pueden quedar en el sitio después del proceso de limpieza (criterios 1 y 2), dos criterios de modificación que no están basados en evaluación de riesgos (criterios 8 y 9) y cinco criterios de balance (criterios 3-5).

**Tabla 10***Criterios de Evaluación del NCP.*

- 
1. Protección de la salud y el ambiente
  2. Cumplimiento de los RARA (al menos que se puedan excusar)
  3. Definitividad y efectividad en el largo plazo
  4. Reducción de toxicidad, movilidad o volumen durante y al final del tratamiento
  5. Efectividad en el corto plazo
  6. Factibilidad
  7. Costo
  8. Aceptación por autoridades locales
  9. Aceptación por la comunidad.
- 

Fuente: Peña, et al. (2001).

**2.15. Tecnologías de restauración ambiental**

El desarrollo de métodos para eliminar las toxinas ambientales se inició activamente en la década de 1990.

Al principio, la limpieza de un lugar implicaba trasladar el material contaminado a otra zona donde se contenía o quemaba. Las comunidades cercanas a las instalaciones receptoras e incineradoras solían oponerse ferozmente a estas alternativas.

El diseño de procesos físicos, químicos, biológicos o que los combinen se ha priorizado en el desarrollo tecnológico para la desintoxicación ambiental porque tienen las siguientes propiedades:

(a) que reduce el peligro que las toxinas ambientales suponen para los seres humanos, ya sea porque:

- Los destruya completamente
- Disminuya su toxicidad
- Reducir su concentración en los medios que consume la población humana.
- Alterarlos químicamente de forma que haya menos probabilidades de que se produzcan realmente exposiciones.

(b) Los riesgos para la salud que se encuentren durante la limpieza deben ser tolerables.

c) Los riesgos que permanezcan una vez finalizada la restauración deben ser equivalentes o inferiores a los especificados en los objetivos de restauración.

d) Si es factible, la transformación tiene lugar en el mismo lugar en el que se encontraban

los tóxicos, evitando la necesidad de trasladar el material contaminado (procedimientos in situ).

(e) Eliminan o reducen la amenaza para la salud en una cantidad razonable de tiempo y dinero.

La tecnología de remediación se divide en dos grandes categorías

1. enfoques establecidos o convencionales; y
2. técnicas novedosas.

Los primeros son métodos creados antes de 1980 que han demostrado su eficacia y se aplican ampliamente sobre el terreno. En las instalaciones de confinamiento, la inmovilización mediante vitrificación y cementación, así como la incineración de medios contaminados en hornos de incineración de residuos peligrosos, son ejemplos de estos procesos.

Los siguientes enfoques, que se han propuesto recientemente y se encuentran en distintas fases de desarrollo:

Conceptualización (concepto, investigación y pruebas de laboratorio).

- Tecnología emergente (pruebas a pequeña escala).

Tecnología utilizable (estudio piloto, estudio de demostración, aplicación a pequeña escala).

Actualmente se dispone de información sobre más de 100 tecnologías distintas, la mayoría de las cuales se basan en los procesos que se enumeran a continuación:

### **2.15.1. Métodos biológicos.**

#### **2.15.1.1. Biorestauración.**

Las "medidas biocorrectivas" son otra forma de denominarlas. Implican el empleo de microorganismos para descomponer las sustancias químicas nocivas en agua, dióxido de carbono y sales minerales, si es posible.

Aunque existen mecanismos basados en la descomposición sintrófica de los tóxicos, los microorganismos suelen emplear moléculas orgánicas tóxicas como fuente de carbono.

La degradación sintrófica, también conocida como degradación cometotrófica, se produce cuando un microorganismo obtiene tanto su carbono como su energía de fuentes distintas a la molécula tóxica. En el caso del sintrofismo, la degradación es el resultado de procesos catalizados por enzimas que tienen funciones diferentes en el organismo y no parecen tener ningún valor para el microorganismo. Por ejemplo, la oxidación de este tóxico por las

monooxigenasas que los organismos utilizan para descomponer sus sustratos naturales, el metano y el amoníaco, respectivamente, es la forma en que el TCE es degradado por los metanótrofos y *Nitrosomonas europaea*.

Las toxinas presentes en el suelo y el agua pueden eliminarse mediante biorremediación. La biorremediación *in situ* implica alterar el entorno físico-químico de la región contaminada para aumentar la cantidad y la tasa metabólica de los microorganismos que pueden descomponer los tóxicos presentes. El objetivo es acelerar el ritmo de descomposición de los tóxicos.

Dado que no es necesario excavar y trasladar la tierra contaminada, estas técnicas presentan las siguientes ventajas fundamentales:

- No generan polvo peligroso durante el proceso de limpieza.
- Se puede tratar una cantidad considerable de tierra de una sola vez.

El principal inconveniente es:

- En el caso de sustancias que se biodegradan muy lentamente, el tratamiento *in situ* puede llevar varios años y es más lento que los tratamientos *ex situ*.
- No pueden utilizarse en suelos muy estratificados o arcillosos porque no favorecen una circulación de aire adecuada por la zona contaminada.

Los métodos utilizados *in situ* pueden ser anaeróbicos o aeróbicos. En el primer caso, el método utilizado para suministrar el oxígeno necesario para el desarrollo celular difiere según los procedimientos. Se introducen postes de inyección perforados en la región contaminada para suministrar nutrientes, principalmente aportes de nitrógeno y fosfato, así como aire o soluciones de peróxido de hidrógeno.

“Las propiedades del suelo y del subsuelo determinarán el número, la ubicación y la profundidad de los pozos, cuando hay que tratar el acuífero porque ya está contaminado, se suele emplear agua oxigenada, se pueden utilizar aspersores para administrar peróxido de hidrógeno cuando la región contaminada es extremadamente poco profunda” (Poma et al., 2001).

#### **2.15.1.1.1. Biorestauración *in situ* de acuíferos Subterráneos.**

Para eliminar los tóxicos presentes en las dos fases del acuífero, los tratamientos *in situ* suelen incluir la potenciación del desarrollo de microorganismos biodegradadores que se encuentran en la zona de humedad saturada.

Se penetra en el acuífero, se excava un pozo, se elimina el agua contaminada, se aportan nutrientes y se satura de oxígeno. Los microorganismos del acuífero

descomponen las sustancias peligrosas una vez que el fluido se introduce en él. El mayor problema de este método es la posibilidad de que la inyección de agua no cubra suficientemente la región contaminada.

Inyectar aire bajo el nivel freático y transportar los tóxicos volátiles, que “son destruidos por los microorganismos del suelo a medida que la corriente de aire que transporta los tóxicos viaja por el lecho del suelo, es otro método de biodegradación de los compuestos orgánicos volátiles que se encuentran en los acuíferos de aguas subterráneas” (Datta et al., 1986).

#### **2.15.1.1.2. Biorestauración *ex situ* de agua subterránea.**

“En general, el proceso de biorremediación de las aguas subterráneas contaminadas consiste en bombear el agua, tratarla en biorreactores en la superficie y volver a inyectarla en el acuífero una vez eliminada la toxina” (Datta et al., 1986).

#### **2.15.1.1.3. Biorestauración *ex situ* de suelo.**

“Los procedimientos *ex situ* se utilizan para tratar la contaminación que no puede eliminarse eficazmente *in situ* debido a la incapacidad de la sustancia para descomponerse, a las propiedades del suelo contaminado o a la necesidad de terminar el tratamiento rápidamente” (Datta et al., 1986).

El suelo contaminado se retira y se somete a tratamientos en fase sólida o semisólida. En el primer caso, se añaden cultivos densos de microorganismos junto con agua y nutrientes para crear un lodo fluido. En circunstancias cuidadosamente controladas, el tratamiento se lleva a cabo en biorreactores aireados y agitados.

En esencia, el tratamiento en fase sólida consiste en colocar la tierra contaminada en lugares destinados a este uso. El objetivo es impedir que los tóxicos abandonen el lugar de tratamiento y pasen al suelo (por lixiviación) o a la atmósfera (en forma de vapores o polvo). Al pie del montículo de tierra contaminada, los suelos se humedecen mediante riego con agua nutritiva, se inoculan con cultivos de microorganismos y se purgan añadiendo aire. En algunos métodos, se introducen pajas u otros materiales orgánicos para favorecer la aireación y dar al suelo tratado una consistencia menos compacta.

#### **2.15.1.2. Fitorrestauración.**

Las toxinas presentes en el suelo y el agua se eliminan mediante cultivos vegetales. Se han utilizado para eliminar lixiviados nocivos de vertederos, iones metálicos,

herbicidas, disolventes, explosivos y vertidos de hidrocarburos (tanto crudos como compuestos poliaromáticos).

En los procesos de biorremediación, las plantas pueden fijar los tóxicos o metabolizarlos de forma similar a como lo hacen los microorganismos.

#### **2.15.1.2.1. Fitoextracción.**

Esto ocurre cuando los iones metálicos son absorbidos por las raíces de la planta y se acumulan en los tallos y las hojas. Algunas plantas pueden absorber grandes cantidades de metales de forma selectiva, acumulando concentraciones mucho mayores en sus tejidos que las que se encuentran en el suelo o el agua. Con este método se han eliminado hidrocarburos del agua y el suelo de cultivos como el enebro, la alfalfa y el álamo.

La región contaminada se planta con determinadas especies. Las plantas se recogen cuando maduran y se queman después. Las cenizas pueden contenerse en vertederos tóxicos o lavarse para recuperar los metales; ambas opciones tienen la ventaja de ocupar mucho menos espacio del que ocuparía la eliminación del suelo contaminado.

#### **2.15.1.2.2. Fitodegradación.**

Es un método mediante el cual las plantas descomponen sustancias orgánicas.

Las sustancias se metabolizan tras ser ingeridas. Con frecuencia crean metabolitos que se comportan como fitohormonas y aceleran el desarrollo de las plantas. Se ha descubierto que las plantas pueden descomponer residuos de explosivos, pesticidas y otros disolventes clorados.

Las plantas también contribuyen al deterioro microbiano de la rizosfera. En las proximidades de las raíces, la flora microbiana del suelo es más diversa y abundante, lo que permite que se produzcan más rápidamente procesos similares a la biodegradación sin necesidad de potenciar artificialmente la actividad microbiana.

#### **2.15.1.2.3. Bombeo biológico.**

Las raíces de los árboles absorben mucha agua al llegar a la capa freática. Un tipo de álamo, el *Populus deltoides*, es capaz de absorber más de un metro cúbico de agua al día. Esta propiedad de los árboles puede aprovecharse para evitar que las aguas superficiales contaminadas penetren en los acuíferos que suministran agua potable o en zonas donde pueden causar problemas.

#### **2.15.1.2.4. Fitovolatilización.**

Los árboles eliminan la mayor parte de los compuestos orgánicos volátiles (COV) del agua que absorben mediante la evaporación de las hojas. Los álamos liberan por transpiración el 90% del TCE que absorben. En conjunto, este proceso hace que los árboles liberen TCE del acuífero a la atmósfera.

#### **2.15.2. Métodos químicos.**

##### **2.15.2.1. Deshalogenación.**

Es un procedimiento utilizado para disminuir la cantidad de átomos halógenos presentes en un compuesto orgánico. La toxicidad de las sustancias polihalogenadas es inversamente proporcional a la cantidad de halógenos en la molécula. Se han dado varios casos de manipulación inadecuada de sustancias químicas polihalogenadas tanto en empresas como en la agricultura. Por ser buenos conductores térmicos, así como aislantes eléctricos y no inflamables, los bifenilos policlorados, por ejemplo, se utilizaron en transformadores de alta tensión. “El DDT también se utilizaba como insecticida en la agricultura y para controlar los insectos portadores de enfermedades, para limpiar en seco y desengrasar piezas mecánicas y eléctricas, se han empleado disolventes grasos como el TCE, el PCE, etc” (Fierz et al., 1965).

“Para utilizar la deshalogenación química es necesario extraer el suelo contaminado y eliminarle las partículas mayores (piedras, palos, etc.). Esto hace necesario que en el sitio se disponga de un área adecuada para hacer esta tarea” (Fierz et al., 1965).

##### **2.15.2.1.1. Polietilenglicol-potasa.**

Este procedimiento consiste en calentar la tierra contaminada con PCB a 150 °C durante 4 horas en una retorta mientras se mezcla con el reactivo APEG (polietilenglicol alcalino). Cuando la molécula policlorada interactúa con el APEG, el polietilenglicol sobrante ocupa el lugar de los átomos de cloro.

Los iones de cloruro representan a los átomos de cloro. Antes de ser vertidos al medio ambiente, los gases y vapores creados en el reactor pasan por un condensador, y los gases y vapores no condensables pasan por un filtro de carbón activo. En el proceso de lavado de la tierra tratada se utiliza agua condensada. El APEG sin reaccionar se recoge y se devuelve a la retorta a partir de la combinación de tierra tratada y APEG en el separador. La retorta se utiliza para lavar la tierra tratada.



#### **2.15.2.1.2. Deshalogenación catalítica.**

Una mezcla 5:1 de bicarbonato sódico y tierra contaminada se calienta a 400°C. Volatilización de las moléculas orgánicas. El suelo que sale del reactor se considera limpio y se devuelve al lugar de donde se recuperó una vez que los productos químicos orgánicos se volatilizan. El suelo tratado no requiere recuperación de reactivos. Los vapores generados se envían a un reactor, donde el tóxico se deshalogeniza catalíticamente. El catalizador es sodio hidroxilado.

Los plaguicidas, algunos herbicidas, las dioxinas y los bifenilos policlorados pueden eliminarse mediante deshalogenación catalítica.

#### **2.15.2.2. Muros de tratamiento.**

El procedimiento consiste en hacer correr la corriente de agua contaminada contra una pared permeable reactiva.

La empaquetadura interactúa con el tóxico disuelto en el agua a medida que viaja a través del lecho, convirtiéndolo en una molécula insoluble o no tóxica que queda atrapada en el lecho. Como resultado, ya no hay tóxicos disueltos en el agua contaminada que entra en el muro reactivo después de salir de él.

Se construye una zanja y se rellena con el material que reaccionará con la toxina para crear los muros reactivos. La zanja se excava en la dirección del flujo del acuífero contaminado. En la mayoría de los casos, el componente activo del relleno se combina con una sustancia porosa, lo que disminuye su resistencia al flujo en comparación con el suelo que lo rodea.

La sustancia o sustancias a eliminar influyen en la elección del componente activo de la pared.

Existen tres métodos de eliminación: sorción, precipitación y degradación.

##### **2.15.2.2.1. Barreras de degradación.**

El tóxico presente en el agua del acuífero se descompone y se transforma en un material inocuo como resultado de los procesos químicos que desencadenan. Por ejemplo, las sustancias químicas policloradas, como el TCE, el PCE, el DCE y el TCA, sufren una deshalogenación reductora cuando se exponen a las paredes de polvo de hierro. El número de sustancias químicas que pueden manipularse puede aumentar combinando paladio con hierro. El polvo de hierro se disuelve con extrema lentitud durante este proceso; se prevé

que las barreras de polvo de hierro funcionarán durante varios años antes de necesitar ser reempaquetadas. Para que la barrera funcione como biorreactor, las paredes pueden rellenarse con nutrientes para microorganismos.

#### **2.15.2.2. Barreras de precipitación.**

Los iones metálicos del agua pueden precipitarse en estas barreras, y la barrera atrapa las sustancias insolubles. Por ejemplo, el agua ácida contaminada con plomo puede enviarse a través de una barrera de piedra caliza para neutralizar el agua, precipitar el plomo y utilizar la parte restante de la barrera como filtro. El mismo procedimiento se utiliza para convertir el agua contaminada con Cromo VI, altamente peligroso, en Cromo III insoluble.

#### **2.15.3. Extracción.**

Estos procesos, que pueden llevarse a cabo *in situ* o *ex situ*, suelen transportar el tóxico del medio contaminado a otro, donde puede eliminarse por cualquiera de las vías químicas o biológicas antes descritas, o bien quemarse o confinarse. La cantidad de material que hay que manipular o confinar suele disminuir significativamente al pasar de un medio a otro.

##### **2.15.3.1. Enjuague del suelo *in situ*.**

El proceso consiste en emplear soluciones de lavado para disolver las sustancias nocivas que han quedado adsorbidas en las partículas del suelo. Para ello se excavan pozos de inyección y extracción, cuya profundidad y posición se determinan en función de las características del lugar. Los pozos de inyección se llenan de agua, a la que pueden añadirse detergentes, disolventes orgánicos (alcohol etílico), bases (hidróxido de sodio o amoníaco), ácidos (clorhídrico o nítrico) o combinaciones de éstos. Para crear soluciones de lavado, el agua de lavado se recoge a través de los pocillos de extracción, se trata para eliminar los tóxicos y luego se reutiliza. Para las moléculas inorgánicas y orgánicas polares que el agua no puede eliminar, se utilizan soluciones ácidas y alcalinas. La eliminación de los compuestos no polares se ve favorecida por el uso de detergentes y disolventes orgánicos.

##### **2.15.3.2. Extracción de vapores.**

Este método de eliminación de sustancias químicas orgánicas volátiles es el más reciente que se ha creado. La extracción de vapores y la biodegradación se acoplan con frecuencia

de tal forma que los tóxicos se enfrentan a circunstancias que favorecen la descomposición aeróbica de los componentes orgánicos a medida que ascienden por el suelo en la zona de humedad no saturada. Esto se consigue reduciendo la tasa de aireación para que los vapores tengan tiempo suficiente para asentarse antes de llegar a las tuberías de salida y comenzar a degradarse. En este caso, el proceso se conoce como bioventilación.

#### **2.15.3.3. Lavado del suelo.**

En esta técnica ex situ se eliminan las partículas más grandes (piedras, palos, etc.) y la tierra contaminada. De forma similar a las anteriores, se utilizan soluciones acuosas para lavar la suciedad tamizada. Las arcillas y limos se separan de las arenas y gravas durante la primera fase de lavado. A menudo, la fracción gruesa puede utilizarse inmediatamente para el relleno porque no ha absorbido ningún material extraño.

Para desinfectar las arcillas y los limos se utiliza cualquiera de los procedimientos mencionados que sean adecuados para eliminar el tipo de tóxico presente. Las arcillas limpiadas pueden depositarse en vertederos de residuos peligrosos o utilizarse como relleno. El objetivo de esta estrategia es reducir la cantidad de material que se procesa o se vierte. Este método se utiliza sobre todo en suelos arenosos

#### **2.15.3.4. Extracción con disolventes.**

Además, es un procedimiento de limpieza de suciedad ex situ que sustituye las soluciones acuosas por disolventes orgánicos. Las etapas empleadas en todos los métodos ex situ se utilizan para preparar el material que se va a tratar, incluida la excavación para retirar la tierra contaminada y el cribado para eliminar las partículas más grandes. Cuando el proceso está en marcha, se introduce más agua en los reactores que tratan la tierra cribada, lo que permite bombear el material contaminado. Las distintas fases se separan tras dejar que el lodo y el disolvente entren en contacto durante el tiempo que sea necesario. Las distintas fases se dispersan con tóxicos. Los bifenilos policlorados y otros productos químicos orgánicos pueden descubrirse en la fase orgánica, pero no así las sustancias inorgánicas.

##### **2.15.3.4.1. Desorción térmica.**

Este procedimiento ex situ consiste en calentar la tierra contaminada que ha sido cribada y excavada en un horno giratorio. El material tóxico se evapora y se recoge para su destrucción o reutilización. Los parámetros del tóxico determinan la

temperatura de funcionamiento, el periodo de permanencia y el método de suministro de calor (calentamiento directo con gases de combustión o indirecto a través de las paredes).

Los suelos muy húmedos no suelen limpiarse con este método, ya que el agua se evapora en el horno, lo que aumenta los gastos y dificulta la recuperación de los tóxicos que se han liberado al aire. Se ha utilizado para eliminar pesticidas, bifenilbifenilos policlorados, COV, COSV (compuestos orgánicos semivolátiles) y otros contaminantes del suelo. En refinerías, coquerías, fábricas de pintura e instalaciones de tratamiento de madera, se ha utilizado para limpiar suelos.

#### **2.15.4. Técnicas de control.**

Los métodos de control impiden que la contaminación se extienda a nuevas zonas, por lo que la contienen dentro de entornos previamente contaminados.

La prevención de los lixiviados, la contención de la pluma de contaminación de los acuíferos y el desvío de los cursos de agua superficiales son ejemplos de estrategias de control pasivo. Estas acciones pueden combinarse con técnicas de bombeo y tratamiento para eliminar la contaminación.

#### **2.15.5. Manejo de medios contaminados.**

El propósito del manejo de materiales en un sitio contaminado es el de remover el suelo contaminado para transportarlo a una planta de tratamiento o lugar de confinamiento o para preparar el sitio para su tratamiento.

Los métodos de tratamiento *in situ* normalmente no requieren del manejo de grandes cantidades de material sólido y ésta es su principal ventaja. Los problemas de manejo de suelos contaminados existen cuando hay que excavar y llevar la porción contaminada del suelo a la superficie para su tratamiento en el sitio o para ser transportado y tratado fuera del sitio.

Los trabajadores deben de usar equipo de protección (máscaras, guantes, botas, etc.). Si durante la excavación llueve, se presenta el problema de la contaminación de las corrientes superficiales que se forman. Es necesario manejar las corrientes superficiales desviándolas para que no entren en contacto con los materiales contaminados que se descubran con la excavación.

## **2.16. Prevención de la contaminación**

Las normas oficiales suelen indicar que deben tomarse medidas para evitar que se liberen sustancias tóxicas en el medio ambiente, con el fin de reducir los riesgos provocados por los xenobióticos peligrosos.

La falta de conocimientos sobre la toxicidad de las sustancias químicas es la cuestión fundamental, desde el punto de vista técnico, a la que deben enfrentarse las personas encargadas de frenar el crecimiento de los riesgos ambientales, ya trabajen en la industria o en las fuerzas del orden. Se cree que se utilizan más de 80.000 sustancias químicas en las numerosas etapas de la producción industrial. En cambio, la base de datos IRIS, como ya se ha dicho, sólo dispone de datos sobre los índices de toxicidad verificados de poco más de 500 sustancias químicas. Cada año se someten a investigación toxicológica 2.000 sustancias químicas.

Lo que las partes interesadas en la prevención de la contaminación tienen que determinar son:

(a) qué compuestos utilizados actualmente son peligrosos y por cuáles seguros podrían sustituirlos.

c) Cómo prevenir la contaminación ambiental.

c) Cómo reducir el coste de la prevención de la contaminación ambiental concentrando los esfuerzos preventivos en controlar los compuestos realmente peligrosos en lugar de malgastar tiempo y recursos en tratar sustancias inocuas como si fueran peligrosas.

Se necesita información para calcular los riesgos, idear métodos para mantenerlos por debajo de un nivel aceptable y descubrir y aprovechar las opciones para evitar la contaminación (Peña et al., 2001).

## **2.17. Estrategia de prevención**

Según Peña et al. (2001), A continuación, se resume la estrategia preventiva:

1. La contaminación debe evitarse en su origen siempre que sea posible.
2. Siempre que sea factible, la contaminación que no pueda detenerse en la fuente debe reciclarse de forma respetuosa con el medio ambiente.
3. Siempre que sea factible, debe recurrirse a la descontaminación in situ (in situ) no peligrosa para hacer frente a la contaminación que no pueda evitarse o reciclarse.
4. Deben evitarse siempre las emisiones tóxicas al medio ambiente y, en los casos en que sea inevitable, las emisiones deben realizarse con el método menos perjudicial posible.

5. Como última opción, debe recurrirse a la contención de forma lexicológicamente activa, y debe llevarse a cabo de forma que no se produzcan vertidos adicionales que pongan en peligro la salud pública.

La reducción en la fuente puede lograrse modificando lo siguiente - equipos de proceso;

- tecnología, métodos o procedimientos;
- formulación y/o rediseño de productos;
- sustitución de insumos.

Si no es posible crear una planta que no produzca toxinas para el medio ambiente, se debe crear un plan para minimizar los riesgos medioambientales a un nivel manejable.

En realidad, esto implica que ningún residuo industrial que contenga compuestos nocivos debe entrar en el medio ambiente sin someterse antes a algún tipo de tratamiento para reciclarlo, eliminarlo o, finalmente, cambiarlo por un confinamiento seguro y práctico.

Es fácil pensar en la restauración ambiental y la prevención de la contaminación como un planteamiento más amplio que abarca ambos procesos y tiene como objetivo principal reducir los riesgos para la salud de la población.

#### **2.17.1. Evaluación de riesgos centrada en la prevención.**

La evaluación de la exposición de la población y la evaluación de la toxicidad de los compuestos identificados como posibles peligros para la salud en el escenario de exposición son necesarias para describir los problemas medioambientales.

#### **2.17.2. Modelos de predicción.**

La Oficina de Prevención de Tóxicos y Contaminación (OPPT) de la EPA ha creado modelos para predecir las cualidades fisicoquímicas que pueden ser útiles para averiguar la movilidad de las sustancias químicas en el medio ambiente. Además, la OPPT ofrece modelos para predecir diversas formas de toxicidad, simular exposiciones y dañar el ecosistema.

Composición química de las sustancias químicas:

- Coeficientes de partición agua/octano
- Las leyes medioambientales pertinentes

### **III. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS**

Para el desarrollo del presente trabajo monográfico se basó en la recopilación de información de fuentes secundarias, consistente en estudios e investigaciones publicadas por instituciones públicas y privadas, tales como Internet, libros, boletines, revistas especializadas en el tema y módulos de conferencias relacionadas a los contaminantes tóxicos atmosféricos y el riesgo que podría generar y también cuales serían las principales mitigaciones para conservar en forma adecuada el medio ambiente.

La información recabada consiste en relacionar y conocer la clasificación de los contaminantes y sus efectos, el aspecto cualitativo y cuantitativo y sus respectivas mitigaciones sobre el medio para su prevención en el cuidado y evitar aspectos perjudiciales para la salud humana.

#### IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN

Sabiendo que la atmósfera es una masa gaseosa que rodea la tierra y que, en virtud de su composición, permite el desarrollo de procesos biológicos y regula la temperatura a modo de termostato; que la atmósfera no es homogénea y se distinguen en ella varias capas o estratos que se diferencian entre sí por diversas características, entre las que destaca su comportamiento térmico; y que, independientemente de su localización, el aire atmosférico contiene aproximadamente. Es fundamental tener en cuenta la concentración a la que está presente la sustancia química de interés. Por desgracia, en el medio natural nunca, o casi nunca, hay preocupación por la presencia de una sola sustancia; cada producto químico puede estar presente a un nivel que por sí solo no causaría ningún daño, posiblemente porque su concentración es demasiado baja para suponer un riesgo. Este es el caso de algunas de las sustancias químicas más tóxicas que se conocen; pueden estar presentes en el medio ambiente en concentraciones inferiores a las que supondrían un riesgo. Además, el hombre es la única entidad inteligente capaz de vencer a las fuerzas de la naturaleza para tener dominio sobre el medio ambiente aéreo, pero únicamente con el propósito expreso de interactuar con otras sustancias químicas o crear nuevos compuestos nocivos mediante procesos bioquímicos, la producción de grandes cantidades de sustancias químicas muy peligrosas para la salud humana, como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), principal gas causante del calentamiento global; los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), que intervienen en la formación de ozono troposférico y de niebla urbana; El cloruro de hidrógeno ( $\text{HCl}$ ), que es muy soluble en agua y se transforma en un ácido muy potente conocido como ácido clorhídrico; esta reacción química provoca la formación de nieblas ácidas en ambientes húmedos y durante los efectos invernadero; esta condición puede llegar a causar problemas respiratorios, así como irritación de los ojos y otros tejidos humanos delicados; el Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), principal responsable de la lluvia ácida que ha destruido cerca de un tercio de los bosques del centro y norte de Europa; partículas sólidas que pueden dividirse en gruesas (mayores de 2 micrómetros) y finas (menores de 2 micrómetros); aunque el cuerpo humano es indefenso frente a ellas, las partículas pequeñas son las más peligrosas porque pueden ser transportadas cientos de kilómetros por el viento y penetrar fácilmente en los sacos alveolares de los pulmones, donde los contaminantes que transportan entran en el torrente sanguíneo.



Si bien es cierto el hombre es el principal responsable de la contaminación atmosférica, por las ingentes actividades económicas que realiza tanto en forma individual, colectiva y a través de las industrias que transforman materias primas de los diferentes sectores, incluyendo a aquellas generadores de energía como es lo es la explotación de petróleo y los diversos metales de la minería; actividades asociadas al transporte; que causan gran contaminación en el medio ambiente, tal como lo enfoca Cantu et-al (1992) y Bonet et al. (1991), que enfatizan también “que la contaminación atmosférica se da a consecuencia de procesos sociales como el crecimiento demográfico, los movimientos migratorios y la urbanización a causa de los cuales, en lugares específicos determinados se pueden generar cantidades exorbitantes de materiales de desechos que en muchos casos son peligrosos”; a esto se suma el uso generalizado en el hogar, la industria y la agricultura de sustancias sintéticas para diversos fines que son generadores de contaminación en muchos casos irreversibles y a largo plazo. También es menester manifestar lo indicado por Peña et al. (2001), que menciona que “la contaminación atmosférica se da por procesos de causa natural o antropogénica; por tipo de contaminante como biológicos, físicos o químicos; por el origen de los contaminantes natural o sintético/artificial; por la naturaleza del contaminante orgánicos”, como el caso de las toxinas naturales, e inorgánicos, como el asbesto, el plomo y los polvos; por sus efectos tóxicos que usualmente este término se reserva para las sustancias químicas sintéticas (xenobióticas), mientras que a las procedentes de organismos vivos y que causan efectos adversos de cualquier tipo, por lo común se les conoce como toxinas; por el sustrato afectado contaminación del agua subterránea, de los alimentos, del suelo, del aire urbano, etc., que de alguna manera degrada en forma significativa la calidad del medio ambiente y por ende la del ser humano.

Otra consideración es el análisis de los contaminantes atmosféricos más comunes y sus efectos; es bien sabido que, dado el estado actual de la economía mundial, cada día surgen nuevas actividades económicas relacionadas de algún modo con el deterioro de la atmósfera al entrar en contacto con ella partículas o sustancias tóxicas procedentes de numerosas empresas; La cantidad de partículas en un metro cúbico de aire se mide en mg o g de partículas por m<sup>3</sup>, y pueden proceder de diversas fuentes, incluida la condensación de procesos natural (incendios forestales, volcanes), de reacción de trazas de gases (cloruro de amonio, sales de sulfatos y nitratos) y materiales dispersados desde la superficie de la Tierra (sales de los océanos y polvo mineral de los continentes) que en promedio representan el 80%, a ello se suma las introducidas por el hombre como

resultado de combustiones y procesos de incineración. Su abundancia relativa varía según el medio: aire rural ( $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), urbano ( $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), fábricas y talleres ( $1.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y gases de central térmica ( $100.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), que representan esta acción antropogénica del 20%. Estas partículas adsorben en su superficie sustancias tóxicas y en ellas pueden ocurrir reacciones en las que se originan contaminantes secundarios en especial la formación de ácido sulfúrico y el contenido de trazas peligrosas como son los metales pesados considerados tóxicos como el berilio, mercurio, plomo y níquel, en especial, pero también cadmio, estaño, antimonio y bismuto. De igual el *monóxido de Carbono* (CO); donde el más del 90% proviene de fuentes naturales, de manera muy especial la oxidación del metano y de la acción humana destaca el transporte y en menor medida, las plantas de combustión, las instalaciones de tratamiento y distribución de combustibles fósiles. El CO sus efectos van incrementándose (a partir de 2-5%, afecta a la vista y algunas funciones psicomotoras; entre 5 y 10% se producen alteraciones cardíacas y pulmonares; por encima del 10%, cefaleas, fatiga, somnolencia y, a concentración elevada, coma, fallo respiratorio y muerte; la concentración de carboxihemoglobina en sangre depende de la concentración de CO en la atmósfera a la que se está expuesto. *Hidrocarburos aromáticos policíclicos* (HAPs), compuestos orgánicos persistentes (COPs), por lo que pueden permanecer en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo sin alterar sus propiedades tóxicas, son semi volátiles lo cual les otorgan gran movilidad en el medioambiente y por ende contaminan; las fuentes principales son los incendios forestales y la actividad volcánica, las principales fuentes antropogénicas de mayor contribución son los procesos industriales, calefacciones domésticas, fuentes móviles de emisión (transportes), incineradoras y plantas de generación eléctrica. El *Dióxido de azufre* (SO<sub>x</sub>), se pueden formar dos óxidos de azufre: dióxido (SO<sub>2</sub>) y trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>), si bien aquél se presenta en una proporción mucho más elevada en las emisiones estables, siendo el trióxido un compuesto inestable, procede prácticamente a partes iguales de fuentes naturales oxidación del sulfuro de hidrógeno, H<sub>2</sub>S, en el metabolismo anaerobio de la materia orgánica y de fuentes antropogénicas, fundamentalmente procesos de combustión estacionaria en especial plantas termoeléctricas y con menor importancia, plantas de combustión industrial, dentro de sus principales efectos producen necrosis en plantas en función de la dosis, alteración en los contenidos de azúcares y proteínas y pérdida de productividad; causan irritaciones oculares y respiratorias en animales a dosis elevadas, también ocasionan trastornos pulmonares permanentes y problemas respiratorios. El

*Óxido de nitrógeno (NOx)*, de los ocho óxidos que puede formar el nitrógeno, sólo tres aparecen en la atmósfera, ya que el resto son inestables: monóxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O), monóxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), los tres en estado gaseoso; proviene de la combustión de la gasolina, el carbón y otros combustibles; afecta a la fotosíntesis, clorosis, lesiones y necrosis en plantas; en animales es más tóxico el NO<sub>2</sub> que, a concentración relativamente elevada, causa irritación ocular y respiratoria, posteriormente problemas respiratorios, edemas pulmonares y muerte; los óxidos de nitrógeno y nitratos derivados afectan también a tintes y fibras textiles y aleaciones de cuproníquel. La principal problemática viene dada por la contribución de estos óxidos al smog o niebla fotoquímica, así como por la formación de ácido nítrico y de lluvia ácida por disolución de éste; en la estratosfera, contribuyen a la destrucción de la capa de ozono. En altas concentraciones, el smog puede producir dificultades respiratorias en las personas asmáticas, accesos de tos en los niños y trastornos en general del sistema respiratorio; de igual modo los *Contaminantes fotoquímicos*, que se da como consecuencia de la aparición en la atmósfera de oxidantes, originados al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta de los rayos del sol. La formación de los oxidantes se ve favorecida en situaciones estacionarias de altas presiones (anticiclones) asociados a una fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes primarios, un modo de contaminación en las grandes áreas urbanas es el "neblumo" o "smog", el cual se caracteriza por un nivel relativamente alto de oxidantes que irritan ojos y garganta.

También es crucial ser consciente de otros contaminantes que perjudican a las personas, como los metales tóxicos como el plomo y el mercurio. Las concentraciones de plomo en las zonas urbanas son de 5 a 50 veces superiores a las de las zonas rurales, y sus efectos, sobre todo en los niños pequeños, pueden dañar el sistema nervioso y provocar problemas digestivos. Las concentraciones de mercurio han aumentado considerablemente como consecuencia de la actividad humana. Las sustancias que contienen plomo pueden provocar cáncer. Junto con otros contaminantes perjudiciales para la existencia humana, como el ozono, el plomo también daña a los animales. El ozono formado en la atmósfera (desde la superficie de la tierra hasta 15 kilómetros de altura), es muy nocivo para los seres vivos, pues además de ser un contaminante, participa en el efecto invernadero. Los *compuestos orgánicos volátiles (VOC)*;

compuestos orgánicos contienen carbono y constituyen los componentes básicos de la materia viviente y de todo derivado de la misma. Muchos de los compuestos orgánicos que utilizamos no se hallan en la naturaleza, sino que se obtienen sintéticamente; muchos compuestos orgánicos volátiles son peligrosos contaminantes del aire, por ejemplo, el benceno tiene efectos cancerígenos. Las *Dioxinas* (TCDD), las dioxinas se pueden encontrar en el suelo proviniendo de las que están suspendidas en la atmósfera y precipitan, como del enterramiento de residuos conteniendo dioxinas; las plantas pueden absorberlas por las raíces en pequeñas cantidades; se encuentran en forma suspendidas en la atmósfera que se depositan sobre las hojas pueden ser degradadas por la acción de la luz solar; en los organismos vivos se observa una fuerte acumulación de dioxinas a través de la cadena alimentaria; es importante señalar que el tiempo de vida media de las dioxinas en el suelo asciende a más de 10 años y en el cuerpo humano es de hasta 6 años. El *Dióxido de Carbono* ( $CO_2$ ), principal gas causante del efecto invernadero; se origina a partir de la combustión de carbón, petróleo y gas natural; en estado líquido o sólido produce quemaduras, congelación de tejidos y ceguera; la inhalación es tóxica si se encuentra en altas concentraciones, pudiendo causar incremento del ritmo respiratorio, desvanecimiento e incluso la muerte. El *Clorofluorcarbonos* (CFC), son sustancias químicas que se utilizan en gran cantidad en la industria, en sistemas de refrigeración y aire acondicionado y en la elaboración de bienes de consumo. Cuando son liberados a la atmósfera, ascienden hasta la estratosfera. Una vez allí, los CFC producen reacciones químicas que dan lugar a la reducción de la capa de ozono que protege la superficie de la Tierra de los rayos solares. La reducción de las emisiones de CFC y la suspensión de la producción de productos químicos que destruyen la capa de ozono constituyen pasos fundamentales para la preservación de la estratosfera.

El medio atmosférico en el que vivimos se estudia actualmente de diversas formas, entre ellas las biológicas, como la biorremediación, que utiliza microorganismos para descomponer las sustancias tóxicas, si es posible, convirtiéndolas en dióxido de carbono, agua y sales minerales inocuas. Los microorganismos suelen utilizar los compuestos orgánicos tóxicos como fuente de carbono, aunque existen procesos basados en la degradación, como su tasa metabólica. El propósito es incrementar la velocidad de degradación de los tóxicos. La *Fitorestauración*, consiste en utilizar cultivos de plantas para eliminar tóxicos presentes en agua y suelo. Se han utilizado para eliminar iones metálicos, plaguicidas, disolventes, explosivos, derrames de hidrocarburos (tanto crudos como

compuestos poliaromáticos) y lixiviados de basureros tóxicos. El *Bombeo biológico*, cuando las raíces de los árboles llegan hasta el manto freático absorbe una gran cantidad de agua. Hay una variedad de álamo (*Populus deltoides*) que absorbe más de un metro cúbico de agua por día. Esta característica de los árboles se puede utilizar para impedir que las aguas superficiales contaminadas lleguen a los acuíferos que se usan para suministro de agua potable, o bien para que se prevenga que aguas contaminadas lleguen a sitios donde pudieran causar problemas. La *Fitovolatilización*, cuando los árboles absorben agua contaminada con compuestos orgánicos volátiles. Los métodos químicos, como la deshalogenación, la polietilenglicol-potasa, la deshalogenación catalítica; también están los muros de tratamiento, las barreras de degradación, de precipitación, de sorción.

Es fundamental comprender los cambios macroecológicos de la atmósfera provocados por una serie de contaminantes nocivos. Así, podemos decir que las lluvias ácidas están causadas por la acidificación del medio ambiente o la pérdida de la capacidad del suelo y el agua para neutralizar las sustancias que se liberan a la atmósfera y luego vuelven a la superficie terrestre en forma de ácidos de óxidos de azufre y nitrógeno. El SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> son una buena ilustración de cómo la atmósfera, el suelo, el agua y los seres vivos están conectados porque afectan directamente a cada uno de estos elementos, que se encuentran presentes en las gotas de lluvia, lo que da lugar a la acidificación de la misma; el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno reaccionan con el oxígeno y la humedad ambiente, por acción del sol, transformándose en ácido sulfúrico y ácido nítrico; los mismos que vuelven a la tierra como lluvia, niebla o rocío ácido; afectando todo el entorno circundante; de igual manera los gases y partículas liberados en una combustión pueden atacar directamente las hojas de los bosques naturales y aquellas plantaciones de cultivos de pan llevar, penetrando los poros del lado inferior y causa graves daños; la lluvia ácida afecta al *suelo* y lo modifica, neutralizando al suelo y generando la muerte de muchos organismos como hongos, bacterias, lombrices y algunos insectos que participan de manera positiva sobre la calidad del suelo; en los animales la acidificación tiene efectos nocivos, al contaminarse los lagos, enfermado o matando los peces y también los animales que se alimentan de ellos: pájaros y mamíferos, empobreciendo la diversidad biológica. Los principales componentes de la lluvia ácida, son ácidos tanto sulfúrico como clorhídrico o nítrico, así como sales de éstos; el pH del agua de lluvia que en circunstancias normales es ligeramente básico, entre 5.5 y 5.7, llega

a tomar valores próximos a 4.0. Finalmente el efecto invernadero que son ciertos gases presentes en la atmósfera capaces de almacenar radiación de onda larga o calor, donde la mayoría de esos gases proceden de fuentes naturales, aunque la proporción de tipo antropogénico no cesa de aumentar, especialmente en zonas rurales o campestres donde todavía debe existir intervención del hombre a través de organismos gubernamentales y privados para su cuidado, sin embargo según expertos del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) de la ONU predicen como inevitable un cambio climático inminente; producto de las pocas medidas para controlar las emisiones de gases efecto invernadero (principalmente CO<sub>2</sub>), con lo cual no se estaría cumpliendo los acuerdo de la cumbre de Kioto donde se han manifestado varias economías sobre el calentamiento global por la contribución del CO<sub>2</sub> que se supone un 55% del total (repartido entre la deforestación con un 15%, la producción de energía eléctrica con un 11% y otro tipo de fuentes con el 29% restante), mientras el 45% restante se reparte como sigue: el N<sub>2</sub>O con un 5%, CH<sub>4</sub> y otros hidrocarburos con un 20% y los CFCs con el 20% restante; la repercusión de estos cambios podrían terminar con el peligro de la extinción de algunas cadenas tróficas que no toleran el cambio de temperatura; otra mirada hay darle a la destrucción de la capa de ozono, causado por las reacciones que tienen lugar entre los contaminantes de la atmósfera que son descargadas en grandes cantidades por los miles de industrias en el mundo.

## **V. PROPUESTA DE APLICACIÓN Y/O MEJORA**

Debido a que existe actualmente por el aumento de la explosión demográfica mayores sustancias tóxicas que contaminan a la atmosfera. La contaminación es una preocupación mundial y un tema importante para todos los seres vivientes, ya que el calentamiento global y los desastres ecológicos que se está sintiendo actualmente no es ajeno para nadie, por lo cual se debe conocer en primer lugar los orígenes de los contaminantes que pueden ser del agua, aire o suelo, las producidas por la industrias que no tienen impacto ambiental y la expansión indiscriminada de la agricultura insipiente con tala de árboles que antes eran el pulmón de las ciudades y para contrarrestar estos efectos se debe dar una educación ambiental a cabalidad con los entes responsables sea por el gobierno nacional, regional, local y comunales haciendo cumplir las normas y leyes existentes para la conservación ambiental.

La tarea del profesional que produce alimentos agrosilvo pastoriles, es el de utilizar al máximo productos orgánicos y conservar el ecosistema sin talar y sin quemar los bosques o de lo contrario reemplazar los árboles talados con otros y cumplir con la ley de conservación ambiental y concientizar el uso y manejo de los pesticidas en los agricultores. Los agroindustriales para alargar la vida útil de los alimentos deben utilizar envases biodegradables y no los envases plásticos (sintéticos) que no pueden degradarse fácilmente y producían mayor cantidad de dioxinas y los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs<sup>9</sup>; Cada vez son más las personas que se organizan en grupos para evitar daños y conocer métodos de fabricación más sanos y sostenibles a medida que tomamos conciencia de los efectos perjudiciales de los productos tóxicos para nuestra salud y el medio ambiente. Afirman que una cierta cantidad de riesgo es necesaria para el progreso y el desarrollo (para que podamos tener electricidad, asistencia sanitaria, transporte, ordenadores, etc.), pero no nos dicen que es posible disfrutar de todos estos beneficios sin riesgos para las personas y el medio ambiente. En cambio, los empresarios, los funcionarios y algunos científicos intentan defender los perjuicios de la contaminación tóxica, en vez de aceptar riesgos innecesarios, nosotros mismos podemos promover una producción más segura de alimentos, productos fabricados y energía, al tiempo que se evita al máximo la contaminación toxica, siempre desde una óptica de prevención y no estar pensando cada vez en la restauración, que sólo es una distracción

de los magros recursos económicos que podrían ser utilizados para enfrentar otras necesidades o solución de problemas sociales.

También se debe conocer cuáles son los contaminantes más abundantes en cada uno de éstos; siendo las principales los Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), dioxinas, las basuras, los pesticidas, que provocan lluvias ácidas, degradación, de la capa de ozono, efecto invernadero, etc. Frente a esta alarma mundial debemos concientizar diariamente a toda la población humana ya sea por medios escritos, radiales, televisivos hasta sensibilizarlos y difundir la forma como conservar el ecosistema que nos rodea y incentivar las buenas costumbres en el manejo de la basura seleccionada.

Campañas comunitarias si pueden cambiar las leyes y basarse en las actuales leyes medioambientales; presión para cambiar las técnicas de producción de productos, muchas industrias han desarrollado técnicas de producción limpia para sustituir los materiales y métodos de producción tóxicos por alternativas más seguras y menos dañinas; Todos nos vemos afectados por el ciclo global de transformación de productos y producción de residuos, ya vivamos en un pequeño pueblo o en una gran ciudad, ya se trate de bolsas de plástico u otros artículos preventivos. Las industrias contaminantes como las fábricas, las centrales eléctricas y las industrias de extracción de petróleo y minerales son las principales productoras de sustancias químicas tóxicas, mientras que la carga de convivir con la contaminación recae sobre todos nosotros, algunas comunidades han podido demostrar que una industria o empresa en particular es responsable por un problema y debe remover los productos tóxicos, descontaminar el sitio y comprometerse a aplicar practicas más seguras que han obligado a las empresas a asumir la responsabilidad de descontaminar, presione a los gobiernos para mejorar las normas de seguridad, es responsabilidad de los gobiernos proteger a la gente contra la contaminación, de lo contrario las leyes dadas para proteger a la sociedad serán sólo de aplicación momentánea; son las organizaciones ambientalistas de estar atento a la aplicación de la norma para la protección, conservación y preservación de un ambiente saludable.

Para minimizar la contaminación del ambiente por residuos de plomo y otras dioxinas por el incremento del uso de vehículos motorizados que usan combustibles fósiles, la propuesta del gobierno regional se hace de vital importancia que consiste en ir reemplazando el combustible fósil por la utilización de del biodiesel a base de cultivos



alternativos; estas políticas preventivas gubernamentales suelen hacer hincapié en que hay que esforzarse por evitar la liberación de tóxicos en el medio ambiente, lo que resulta más beneficioso que recuperar los hábitats dañados, en términos de disminución de los riesgos causados por los xenobióticos nocivos.

## VI. CONCLUSIONES

- Los contaminantes tóxicos atmosféricos más perjudiciales para el ser humano y que tienen alto riesgo están el monóxido de carbono, óxido de sodio, acetileno, butano; los Hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas; asbestos, fibra de vidrio; aerosoles, insecticidas, ácido sulfúrico, el nafta, aguarrás, mercurio, alcanfor, naftaleno, etc, a esto se le agrega los contaminantes naturales del aire como plantas en descomposición, virus, partículas de sal y fuegos forestales, a esta mezcla se pueden añadir otros compuestos tales como partículas de polvo cenizas volcánicas, productos industriales entre otros.
- Dentro de la clasificación de los contaminantes tóxicos atmosféricos tenemos a los aerosoles y partículas; monóxido de carbono (CO); hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs); dióxido de azufre (SO<sub>x</sub>), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), contaminantes fotoquímicos y otros contaminantes (metales tóxicos, plomo, ozono, compuestos orgánicos volátiles (VOC), dioxinas, dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), clorofluorcarbonos (CFC).
- Los efectos producidos por la contaminación atmosférica deterioran el medio ambiente dando lugar a olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños para la salud humana, elevadas concentraciones de monóxido de carbono al combinarse con la hemoglobina de la sangre da lugar a la formación de carboxihemoglobina, reduciendo la capacidad de sangre para el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos; los oxidantes fotoquímicos tiene efectos nocivos en la irritación de los ojos, mucosas, afecciones asmáticas y bronco pulmonares; la presencia de plomo afectan la inteligencia de los niños y causan anomalías en los fetos de madres gestantes, en los adultos pueden producir daños en el sistema nervioso.
- Para mitigar los daños causados por los contaminantes tóxicos atmosféricos, la comunidad debe ejercer mucha presión para que los gobiernos hagan cumplir las leyes que protejan a las personas, campañas comunitarias para presionar a las empresas a cambiar sus procesos en técnicas de producción limpia para reemplazar los materiales y métodos de producción tóxicos con otros más seguros y menos dañinos, reducir el consumo y los desechos, remover los productos tóxicos, descontaminar el sitio y comprometerse a aplicar prácticas más seguras que han obligado a las empresas a asumir la responsabilidad de descontaminar y otras acciones vitales de prevención.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Para fomentar un desarrollo moderado que tenga en cuenta el medio ambiente, es necesario gestionar eficazmente los recursos, desarrollar y ampliar las tecnologías limpias, aumentar el reciclaje entre la población y buscar formas de mantener o mejorar el sistema medioambiental a través de la actividad económica. También es importante restaurar los ecosistemas dañados y reconocer que el medio ambiente no puede ser controlado únicamente por la acción humana.
  
- Preservar el ecosistema y usar productos biodegradables (envoltura de papel, cartón o de hojas de vegetales), asimismo evitar compuestos orgánicos que contienen “cloro” en el nombre, incluyendo preservantes de madera, herbicidas e insecticidas; de igual manera debemos de guardar las envolturas de comida bolsas y otros desperdicios recipientes adecuados, en la casa esperar que pase el recolector de la basura; para evitar basuras en la calle, en los causes en los ríos, lagos y lagunas.
  
- Concientizar a toda la población sobre la conservación del ecosistema y esto debe ser tarea de cada uno de nosotros y con el apoyo sincero de las autoridades de turno tanto locales, regionales y nacionales, haciendo cumplir a cabalidad las normas, leyes sobre la conservación del medio ambiente y a los que infringen dar la pena que se merece de acuerdo a las normas legales establecidas en el país.

## VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- BONET, SANCHEZ A. (1991). Gran Enciclopedia Educativa. Ediciones Zamora Ltda. México, Panamá, Colombia, España.
- CANTU, M.C. (1992). "Contaminación Ambiental", Editorial Diana, México,
- CUZICK, J., P. SASIENI AND S. EVANS, (1992). "Ingested arsenic, keratoses, and bladder cancer". Am. J. Epidemiol. 136(4): 417-421.
- DATTA, S., G. TALUKDER AND A. SHARMA. (1986). Cytotoxic effects of arsenic in dietary oil primed rats. Sci. Culture. 52: 196-198.
- DONG, J-T., X-M. LUO. (1993). Arsenic-induced DNA-strand breaks associated with DNA-protein crosslinks in human fetal lung fibroblasts. Mutat. Res. 302(2): 97-102.
- ENKERLIN E; CANO G; GARZ R; VOGEL E. (1997), Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Internacional Thomson Editores-México.
- FIERZ, U. (1999). Catamnestic investigations of the side effects of therapy of skin diseases with inorganic arsenic. Dermatológica. 131:41-58
- FURST, A. (1983). "A new look at arsenic carcinogenesis. In: Arsenic: Industrial, Biomedical and Environmental Perspectives", W. Lederer and R. Fensterheim, Ed. Van Nostrand Reinhold, New York. p. 151-163.
- GLYNN, H.J.; GARY W. HEINKE; PRENTICE HALL, (1999), "Ingeniería Ambiental", Segunda edición, México.
- HIGGINS, I. (1982), "Arsenic and respiratory cancer among a sample of Anaconda smelter workers". Report submitted to the Occupational Safety and Health Administration in the comments of the Kennecott Minerals Company on the inorganic arsenic rulemaking. (Exhibit 203-5).
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. (1980), "IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Man", Vol. 23. Some metals and metallic compounds. World Health Organization, Lyon, France.

- LARRAMENDY, M.L., N.C. POPESCU AND J.A. DIPAOLO. (1981). Induction by inorganic metal salts of sister chromatic exchanges and chromosome aberrations in human and Syrian hamster strains. *Environ. Mutagen.* 3: 597-606.
- LEE, TE-CHANG, N. TANAKA, P.W. LAMB, T.M. GILMER AND J.C. BARRETT. (1989). Induction of gene amplification by arsenic. *Science.* 241(4861): 79-81.
- PEÑA C; CARTER D; FIERRO F. (2001). *Toxicología Ambiental.* The University of Arizona. EE.UU.
- PINNA R.H. (2008). “Contaminación del Aire; Destrucción de la capa de Ozono y sus consecuencias sobre las plantas y animales”, Santiago de Chile.
- POMA, K., N. DEGRAEVE AND C. SUSANNE. (1987). Cytogenic effects in mice after chronic exposure to arsenic followed by a single dose of ethyl methanesulfonate. *Cytologia.* 52(3): 445-450.
- Purizaca, M. (2010). *Modificaciones fisiológicas en el embarazo.* Profesor Principal de Gineco-Obstetricia, Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Piura, Doctor en Medicina, Maestro Peruano de Obstetricia y Ginecología
- RODRÍGUEZ J. F. (1997). “Contaminantes Atmosféricos Primarios y Secundarios”, México, Editorial Diana, Capítulo 9 (123-147)
- U.S. EPA. (1984). *Health Assessment Document for Inorganic Arsenic.* Prepared by the Office of Research and Development, Environmental Criteria and Assessment Office, Research Triangle Park, NC.
- VAHTER, M. AND E. MARAFANTE. (1988). In vivo methylation and detoxification of arsenic. *Royal Soc. Chem.* 66: 105-119.
- WELCH, K., I. HIGGINS, M. OH AND C. BURCHFIELD. (1982). Arsenic exposure, smoking, and respiratory cancer in copper smelter workers. *Arch. Environ. Health.* 37(6): 325-335.

Página Web Consultadas:

- FRERS, C. (2007), “Problema de la Contaminación Ambiental Derecho Humano-Medio Ambiente (En línea) Dirección URL: <http://www.deigualaaigual.net/es/derechos-humanos/61-medio-ambiente/1359-contaminacion-ambiental>. (11/08/2007).
- “Contaminación Atmosférica” (En línea) Dirección URL: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2.html>.

“Efectos producidos por la Contaminación Atmosférica” (En línea) Dirección URL:

[http://www.mambiente.madrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/Efectos\\_de\\_la\\_Contaminacion.pdf](http://www.mambiente.madrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/Efectos_de_la_Contaminacion.pdf).

# Contaminantes tóxicos atmosféricos análisis de riesgo y su mitigación

*por* Janina Miluska - Linares Vargas

---

**Fecha de entrega:** 15-jun-2023 10:13a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2116688613

**Nombre del archivo:** ING.\_AGROIND.\_-Janina\_Miluska\_Linares\_Vargas\_1.docx (1.86M)

**Total de palabras:** 32255

**Total de caracteres:** 178322

# Contaminantes tóxicos atmosféricos análisis de riesgo y su mitigación

## INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

4%

2

[ilyfes.blogspot.com](https://ilyfes.blogspot.com)

Fuente de Internet

2%

3

[nicolas-salas.blogspot.com](https://nicolas-salas.blogspot.com)

Fuente de Internet

1%

4

[repository.udistrital.edu.co](https://repository.udistrital.edu.co)

Fuente de Internet

1%

5

[epdf.pub](https://epdf.pub)

Fuente de Internet

1%

6

[ecotoxvirtual.blogspot.com](https://ecotoxvirtual.blogspot.com)

Fuente de Internet

<1%

7

[doi.org](https://doi.org)

Fuente de Internet

<1%

8

[prezi.com](https://prezi.com)

Fuente de Internet

<1%

9

[superfund.pharmacy.arizona.edu](https://superfund.pharmacy.arizona.edu)

Fuente de Internet