

**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN CONTROL DE LOS RESIDUOS
GENERADOS EN HOSPITALES Y OTROS CENTROS DE
SALUD**

**MÓDULO II
IMPACTO Y RIESGO A LA SALUD Y AL AMBIENTE
RELACIONADOS CON EL MANEJO DE RESIDUOS
BIOLÓGICO-INFECIOSOS**

TEMA:

MARCO CONCEPTUAL DE RIESGOS AMBIENTALES

**CONFERENCISTA
ING. DORAIDA RODRÍGUEZ
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES DE SUSTANCIAS QUÍMICAS: INTRODUCCIÓN Y VISIÓN PANORÁMICA

Charles A. Pittinger³
Procter & Gamble, Estados Unidos

ASPECTOS GENERALES

El propósito de este trabajo es transmitir conceptos relativos a la *evaluación de riesgos ambientales* y los elementos de toxicología, ecotoxicología e ingeniería que intervienen en este proceso, describir enfoques y métodos, discutir las actividades internacionales en la materia, plantear el papel de la *evaluación de riesgos* en la gestión de sustancias químicas de uso industrial o de consumo, en particular dentro de la industria, para basar sus decisiones cotidianas de negocios. Nuestro propósito es explicar de qué manera se llevan a cabo evaluaciones de riesgo ambiental en muchas empresas, para desarrollar productos seguros.

En otros capítulos de este documento se hablará de la definición de políticas para el manejo de los *riesgos*, sobre todo de sustancias que son tóxicas, persistentes y bioacumulables, de manera que aquí se pondrá mayor énfasis en describir como se determinan esas propiedades o comportamientos de las sustancias para hacer ver que dichas políticas se basan en conceptos científicos sólidos.

Para comenzar, es necesario describir cómo se definen los términos peligro y riesgo, y cuáles son las diferencias entre ellos:

Peligro: se considera que es una propiedad intrínseca de la sustancia para causar un efecto adverso.

Riesgo: es la probabilidad de que la sustancia cause un efecto adverso en una situación particular de exposición. Entonces, la evaluación de riesgo requiere que se determinen tanto los peligros de la sustancia como sus características de exposición.

Los investigadores científicos que realizan evaluaciones de riesgo son conocidos como evaluadores de riesgo. El papel que desempeñan es muy diferente al del responsable de manejar el riesgo, quien es el individuo que debe integrar la información de la evaluación de riesgo con otros criterios importantes para llegar a decisiones de manejo bien fundamentadas. Quienes manejan el riesgo típicamente son quienes toman las decisiones en las empresas privadas o en las organizaciones gubernamentales con autoridad sobre productos, sistemas o regulaciones particulares. Las opciones generales de gestión que están disponibles para quienes manejan riesgos, con base en el conocimiento de los riesgos de las sustancias, incluyen:

1. Aceptar el riesgo.
2. Evitar el riesgo.
3. Manejar el riesgo:
 - Reduciendo el uso de la sustancia.

³Este trabajo fue extraído de su presentación del día 10 de junio.

Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria

- Reduciendo la liberación de la sustancia al ambiente,
- Modificando el uso de la sustancia
- Reemplazando a la sustancia.

Quienes manejan el riesgo entienden que algunos son una parte inevitable de la vida: manejar un automóvil o utilizar la energía eléctrica, por ejemplo. Su meta no es la de eliminar todos los riesgos para los seres humanos y el ambiente, ya que esto es claramente imposible. En cierto modo, todos los usos de los recursos naturales incluyendo la minería, la agricultura y las prácticas forestales representan riesgos ambientales necesarios que hemos aceptado como parte de la vida en los tiempos modernos, para el desarrollo de la población humana. El papel de quienes manejan el riesgo es el de tomar decisiones sobre cuáles riesgos son aceptables o inaceptables, trabajar para evitar aquellos que son inaceptables, y para reducir los inevitables a niveles aceptables.

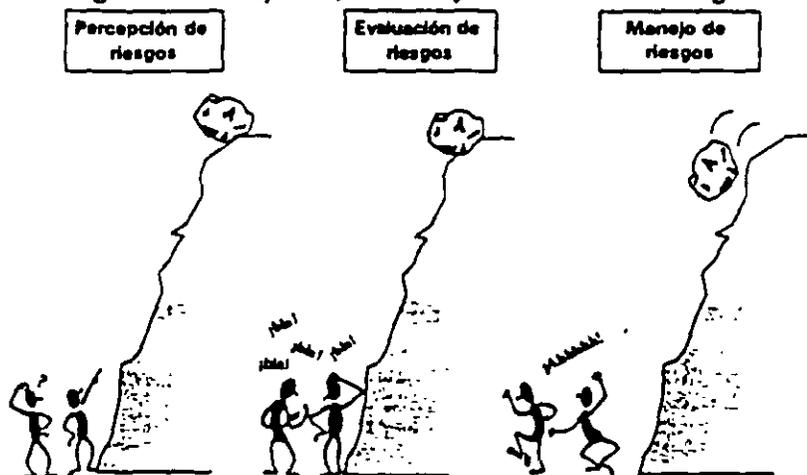
Además de la información que proporcionan las evaluaciones de riesgo, quien lo maneja debe considerar otros factores, incluyendo consideraciones sociales, económicas y técnicas. También debe preguntarse: ¿Si se evita un riesgo específico, cuáles otros pueden introducirse? ¿Qué opciones y medios están disponibles para manejar riesgos, y cuáles son razonables y efectivos económicamente? ¿Vale la pena invertir este costo de acuerdo a la reducción del riesgo que se alcanzaría? ¿Qué otros riesgos podrían ser manejados con los mismos recursos? ¿Qué tan seguro está de que con la acción de manejo efectivamente logrará lo que pretende lograr? Una vez manejado el riesgo, ¿será aceptable para todos los potencialmente afectados (por ejemplo la industria, el gobierno, el público)?

Lo que es aceptable o inaceptable depende de la manera en la que se percibe el riesgo. A su vez, esta manera de percibirlos y evaluarlos determina las acciones de manejo que se eligen. Estos conceptos se ilustran en la Figura 1, que muestra a una pareja parada al lado de una montaña que tiene en su cima una roca a punto de caer; en la primera imagen, la pareja se da cuenta de que existe el riesgo de que la roca caiga sobre ellos; en la segunda, las dos personas evalúan el riesgo y discuten lo que harán en caso de que la roca caiga; y, en la tercera, corren para escapar del peligro cuando el riesgo es confirmado por la caída de la roca desde la montaña.

El mensaje de esta figura es que la forma en que manejamos los riesgos depende de cómo y con qué precisión los *percibimos*; lo cual pone en relieve la importancia de conocerlos, tanto para el gobierno como para la industria, y cómo los *percibe* el público. Entre más exacta sea su *percepción*, más efectivo será su manejo y el establecimiento de prioridades.

Cuando se decide que un riesgo es aceptable, esto no significa que puede ser ignorado u olvidado. Algunas veces condiciones tales como el uso de la sustancia química pueden cambiar, más allá del control o del conocimiento inmediato de quien maneja el riesgo, con la posibilidad de que la exposición al ambiente y el riesgo puedan incrementarse (o disminuir). En otros casos, nuevos hallazgos científicos pueden demostrar que éste era diferente de lo que se pensó originalmente. Por estas razones las instituciones responsables —tanto públicas como privadas— deben monitorear los riesgos y las emisiones a través del tiempo para asegurarse de que sus evaluaciones de riesgo continúan siendo realistas, representativas y actualizadas.

Figura 1. Percepción, análisis y evaluación de riesgos



Este tipo de enfoque se emplea para determinar qué es *seguridad química*. Sin embargo, la definición de qué es seguro es subjetiva, pues en ello intervienen preferencias culturales, valores morales y la forma en que los individuos *perciben los riesgos* (lo cual se sabe varía incluso con la edad y el género).

Se tiende a definir la *seguridad química* desde dos perspectivas:

Salud humana, tomando en cuenta la calidad del agua, de los alimentos y del aire desde la perspectiva de la presencia de sustancias tóxicas.

Ambiente, considerando el estado de los ecosistemas acuáticos y terrestres, las plantas y animales, y de los procesos ecosistémicos expuestos a las sustancias tóxicas.

Aunque este trabajo se centra en la *evaluación de riesgos ambientales*, se introducen, a manera de marco de referencia, algunos conceptos relativos a la *evaluación de riesgos para la salud humana*.

Así, por ejemplo, la *evaluación de riesgos para la salud humana*, puede centrarse en:

- Trabajadores y consumidores.
- La exposición en la manufactura o residencial.
- La exposición directa e indirecta.
- Diversas rutas de exposición (agua, aire y alimentos).

Entre los parámetros en los que se basa la *evaluación de riesgos para la salud humana* se encuentran:

- El comportamiento de procesos biológicos normales (por ejemplo, la respiración y la alimentación).
- La alteración del crecimiento.
- Los defectos congénitos.
- Los padecimientos del corazón.
- El desarrollo de cáncer.
- Las enfermedades de origen genético.

EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES

La *evaluación de riesgos ambientales*, sigue un proceso similar al de la *evaluación de riesgos para la salud humana*, y consiste en efectuar una comparación entre el nivel de concentración ambiental de la sustancia y el nivel en el que ocurre un efecto ambiental.

Las empresas a menudo utilizan la *evaluación de riesgos ambientales* para guiar sus decisiones de negocios, incluyendo acciones como:

- La elección entre sustancias alternativas (por ejemplo, más seguras, más baratas y más efectivas).
- La evaluación de sus operaciones (por ejemplo, desde la perspectiva de los riesgos de sus emisiones a fin de reducirlos).
- El establecimiento de prioridades de remediación de sitios contaminados (para alcanzar un *nivel de riesgo aceptable*).

Dos preguntas son críticas en la *evaluación de riesgos ambientales*:

¿Cuál es la toxicidad potencial de la sustancia?

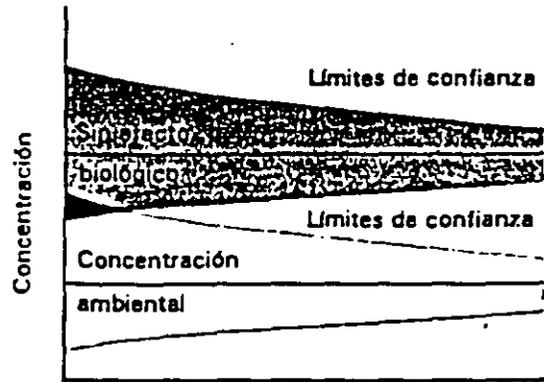
¿Es la exposición a ella suficientemente alta para causar un efecto adverso?

Para los toxicólogos, toda sustancia es potencialmente tóxica a cierta concentración, por lo cual, lo importante es determinar la magnitud de la exposición de los seres humanos o de los ecosistemas que los protegerá de sus efectos dañinos. La figura 2 ilustra este principio, la concentración de la sustancia química se muestra en el eje vertical y la duración de la exposición o el número y complejidad de las pruebas para evaluar su peligrosidad se indica en el eje horizontal. La zona gris muestra el rango de concentración que no produce ningún efecto biológico, la zona rayada, la concentración que se encuentra en la realidad en el ambiente. La *evaluación de riesgos* es el proceso de comparar los niveles de concentración que producen un efecto en la parte superior de la gráfica y los niveles de exposición de la parte baja. Cuando estos están muy cercanos (zona de color negro), existe la preocupación de que pueda existir un *riesgo* significativo que requiera ser manejado adecuadamente o evitado. Por el contrario, si la distancia que los separa es grande, podemos estar tranquilos de que no hay *riesgo* o bien, que el *riesgo* asociado con el uso de la sustancia es bajo y/o razonable. Es importante hacer notar que las bandas de incertidumbre que aparecen en la gráfica se van haciendo más estrechas a medida que se conoce más acerca de la toxicidad y exposición de las sustancias.

Entre las diferencias más importantes que existen entre la *evaluación de riesgos para la salud humana* y la *evaluación de riesgos ambientales*, se encuentran el que en ésta última se tienen que considerar:

1. Más especies y parámetros.
2. Más rutas de exposición:
3. Diferentes niveles de organización:
 - Organismos.
 - Poblaciones.
 - Comunidades.
 - Ecosistemas.

Figura 2. Principios de la evaluación de riesgos

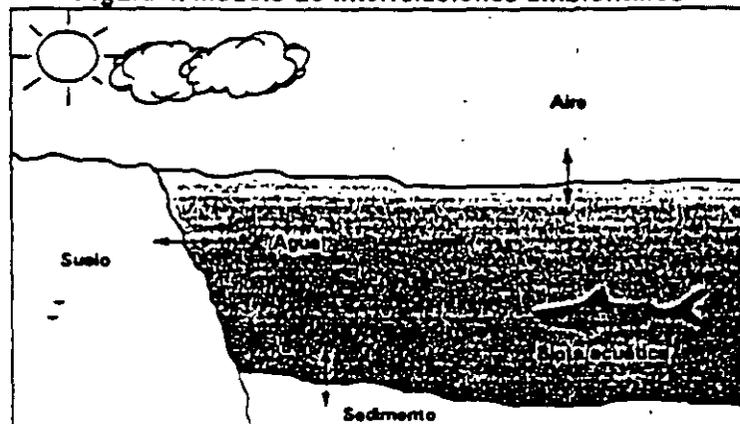


Progresión en el tiempo o en las pruebas

La complejidad de las exposiciones a las sustancias químicas que pueden ocurrir en la naturaleza, las múltiples rutas de movilización de dichas sustancias, las cadenas alimentarias a través de las cuales se puede dar la exposición, aparecen ilustradas en la figura 3. Conviene resaltar que así como son importantes los organismos en un ecosistema, lo son los elementos abióticos del mismo: el aire, el agua, el suelo y los sedimentos, por mencionar algunos, por lo que la Ecología se centra en investigar cómo un organismo vive e interactúa con todos los elementos, vivos e inertes, de su ecosistema. El evaluador de riesgos ecológicos está preocupado no tan sólo por la protección de individuos, sino también le interesa proteger todos los procesos físicos y químicos que ocurren entre ellos, en sus poblaciones, comunidades y con su entorno.

A menudo es útil emplear modelos matemáticos conceptuales para reducir la complejidad del mundo real. Esto es lo que muestra la figura 4, en la que aparece un modelo empleado en el estudio de las interacciones entre el aire, el agua, los sedimentos y la biota.

Figura 4. Modelo de interrelaciones ambientales



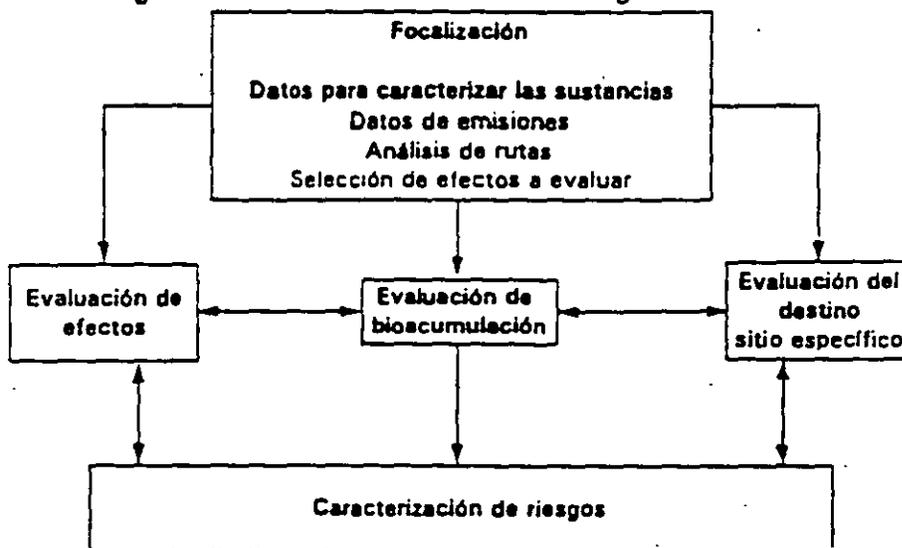
Marco de la evaluación de riesgos ambientales

La *evaluación de riesgos ambientales* se aplica en tres grandes áreas:

- Evaluación de sustancias (por ejemplo, productos nuevos).
- Evaluación de sitios contaminados (por ejemplo, plantas de manufactura).
- Evaluación de efectos en los recursos naturales (por ejemplo, en el caso de nuevos desarrollos residenciales o comerciales).

A continuación se describe el método que se emplea para realizar la *caracterización de los riesgos ambientales* de las sustancias químicas y que servirá de base para la descripción de algunos conceptos básicos. Como puede apreciarse en la figura 5, el punto de partida lo representan los datos que permiten caracterizar a las sustancias a ser evaluadas, incluyendo los relativos a las emisiones de las mismas al ambiente, los que sustentan el análisis de sus rutas de movilización, y los que permiten al evaluador de riesgos seleccionar a los organismos, poblaciones y comunidades en los que se centrará la evaluación. Con base en este primer conjunto de datos, se procede a la *evaluación de sus efectos* y el destino ambiental, a lo cual se suma la evaluación de su capacidad de *bioacumulación* (la cual es un fenómeno que influye en el destino de la sustancia), para finalmente proceder a *caracterizar sus riesgos*.

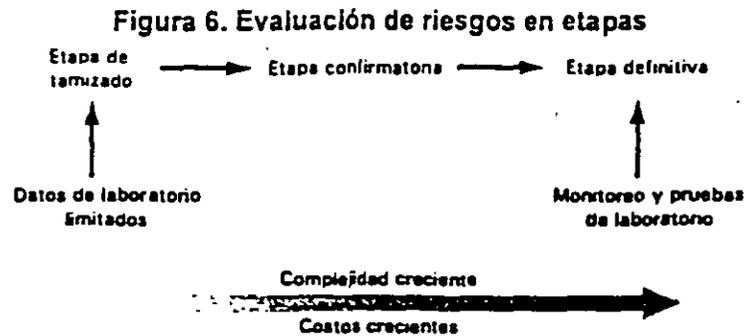
Figura 5. Marco de la evaluación de riesgos ambientales.



A través del modelo de *Relación cuantitativa entre la estructura y la actividad de las sustancias*, basado en su estructura molecular (denominado QSAR por sus siglas en inglés), se puede predecir su solubilidad, presión de vapor, punto de fusión y ebullición, así como otras propiedades que juegan un papel fundamental en su capacidad de movilización.

La *evaluación de los riesgos ambientales* se basa, en primer término, en el conocimiento de las propiedades que determinan la toxicidad y el destino de las sustancias

en el ambiente. Éste se obtiene mediante la aplicación de pruebas físicas, químicas y toxicológicas a las que se someten las sustancias y que se realizan en etapas, empleando en primer término las más simples y confirmando los resultados mediante la utilización de pruebas más complejas (figura 6).



Las etapas de nivel superior proporcionan datos más realistas debido a que incluyen pruebas que abarcan:

- Un rango más amplio de especies.
- Exposiciones sitio-específicas.
- Análisis probabilístico de la exposición.
- Enfoques que ponderan el peso de la evidencia.

Si los resultados de las pruebas iniciales proporcionan evidencias razonables de que la sustancia será segura, aún considerando la incertidumbre en los datos, entonces la evaluación de riesgo podría concluirse en este punto. Sin embargo, a menudo existen incertidumbres o preguntas que todavía requieren de ser contestadas después de las pruebas iniciales, y que requieren de la aplicación de pruebas adicionales. Las pruebas de alto nivel generalmente son más costosas en su aplicación y requieren de más tiempo, de manera que quienes evalúan y manejan el riesgo deben decidir si el uso de la sustancia justifica los gastos y el tiempo que se requieren para coleccionar los datos. Las sustancias que presentan beneficios importantes son sometidas a extensas pruebas, mientras que otras pueden ser rechazadas después de sólo unas cuantas pruebas iniciales. Otro criterio que determina el intervalo de pruebas para una sustancia nueva es la magnitud de la exposición: las que tienen una distribución potencial amplia o tiempos de residencia más largos en el ambiente generalmente requieren de mayores pruebas que aquellas sin descarga o con descarga limitada al ambiente.

La selección de los parámetros a emplear en las evaluaciones depende de la decisión sobre lo que se busca proteger, ya sea:

- La salud humana.
- Calidad del agua de bebida.
- Calidad de los alimentos.
- Las plantas y los animales en la naturaleza.
- Los ecosistemas.

Evidentemente, en el caso de las *evaluaciones de riesgo para la salud humana*, se es más exigente porque aún la pérdida de una sola vida puede llegar a ser considerada como inaceptable, sin embargo, dado que en la naturaleza la vida humana no está exenta de *riesgos*, por lo general lo que suele hacerse es intercambiar un *riesgo* por otro de menor magnitud o eliminar los que son inadmisibles, lo cual hace intervenir juicios basados no tan sólo en consideraciones científicas, sino también morales.

Como ya se dijo previamente, las *evaluaciones de riesgos ecológicos* son más complejas y es difícil contar con diseños experimentales que contesten todas las preguntas respecto a la multitud de condiciones de exposición plausibles y el sinnúmero de especies y procesos que pueden verse afectados de diversas maneras. A pesar de ello, se cuenta con modelos para determinar los efectos de las sustancias a nivel estructural de los ecosistemas, es decir, en individuos de las especies que los conforman, o a nivel funcional, es decir, sobre los procesos (como la fotosíntesis y la productividad)

Evaluación de los efectos

Esté es el campo de la toxicología (cuando se tratan de evaluar los efectos de las sustancias para los seres humanos) y de la ecotoxicología (cuando se evalúan los efectos sobre los ecosistemas). La meta de la *evaluación de los efectos* de una sustancia es responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué tan tóxica es la sustancia?
- ¿Qué nivel de exposición no causa daño?
- ¿Cuál es la concentración prevista que no causa efecto (PNEC por sus siglas en inglés)?
- ¿Cómo se pueden extrapolar los resultados a otros organismos?
- ¿Cómo se pueden extrapolar los resultados a otros procesos?

El desafío para los ecotoxicólogos es grande, porque a partir de pruebas muy sencillas, se tienen que derivar conclusiones que apliquen a sistemas complejos.

En este caso, se entiende por *toxicidad* el *potencial de una sustancia de causar un efecto dañino*, y se distinguen varias formas de toxicidad, ya sea directa o indirecta, o de manifestación a corto plazo (*aguda*) o a largo plazo (*crónica*). Es importante hacer notar que muchos organismos acuáticos y terrestres de prueba, tienen vidas relativamente cortas, por lo cual los esquemas de exposición durante las pruebas pueden cubrir gran parte de su vida y considerarse como crónicos.

Diferentes factores pueden influir en la toxicidad de una sustancia atenuándola o incrementándola, entre ellos se pueden citar:

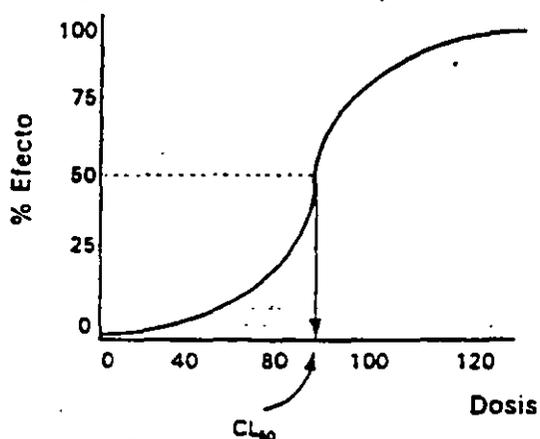
- Su concentración.
- La ruta a través de la cual se moviliza hacia un receptor (agua, alimentos, aire).
- El tiempo que dura la exposición (corto o largo plazo).
- La frecuencia y duración con la que ocurre la exposición.
- Las condiciones ambientales (temperatura, humedad y pH, entre otros).
- La existencia de múltiples agentes causantes de estrés que pueden influir unos en otros, potenciando o antagonizando sus efectos.
- La edad y el estado fisiológico o nutricional de los individuos expuestos.

En la evaluación de los efectos, se distinguen los siguientes tipos de relaciones entre la exposición y el efecto:

Relaciones causa-efecto, en las que el efecto adverso resulta de la exposición a la sustancia.

Relaciones dosis-respuesta, Es la relación cuantitativa entre la dosis (concentración de exposición) y la magnitud del efecto adverso (figura 7).

Figura 7. Curva dosis-respuesta



En la figura 7 se indica cual es la concentración letal media (CL_{50}), que ocasiona la muerte de 50% de los individuos expuestos, parámetro frecuentemente usado para determinar la toxicidad aguda de las sustancias. Es importante hacer notar que, cuando se dice que una sustancia tiene una toxicidad de 10mg/l, existen muchas razones para preguntarse si esa dosis precisa es la que ocasiona el efecto o un rango de dosis alrededor de ese valor, y cómo fue determinada esa toxicidad. Vale la pena aclarar que no siempre se obtienen respuestas contundentes a estas preguntas, contrariamente a lo que pudieran hacer creer las políticas o los instrumentos para la gestión de las sustancias químicas. La incertidumbre y variabilidad se presentan prácticamente en todas las pruebas químicas y biológicas.

Los criterios que se siguen para seleccionar las pruebas de toxicidad, toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Representatividad.
- Sensibilidad.
- Reproducibilidad.
- Costo.
- Duración.
- Pertinencia de los parámetros que evalúan.
- Condiciones en las que se realizan.
- Dosis que involucran.

En lo que respecta a las pruebas de campo, en los casos en que son necesarias, éstas:

- Constituyen la última etapa de la evaluación de riesgos.
- Determinan efectos en comunidades y ecosistemas.
- Confirman evaluaciones previas de riesgo.
- Reducen las incertidumbres, o contribuyen a entender mejor la variabilidad.
- Miden directamente las sustancias y establecen relaciones causa-efecto entre las sustancias y los efectos observados.

Se sabe que las pruebas empleadas para determinar la *peligrosidad* y el comportamiento de las sustancias en el ambiente, son meras representaciones de lo que pasa en la realidad y que un organismo de laboratorio como la rata no puede informar con fidelidad de cómo responderá un ser humano expuesto de la misma manera a una sustancia. Por ello, el proceso de *evaluación de riesgos* está basado en muchos supuestos que crean numerosas *incertidumbres*. En virtud de lo anterior, los evaluadores de riesgo dividen las concentraciones que no producen efectos entre factores (de 10 a 10 000) a fin de tomar en cuenta las *incertidumbres* y establecer *márgenes de seguridad* al definir el valor de PNEC. Cada uno de esos factores, cubre las *incertidumbres* que resultan de no haber estudiado necesariamente a la especie más sensible, de no haber reproducido las condiciones realistas y representativas que ocurren en las exposiciones en la naturaleza y de no haber empleado tiempos de exposición suficientemente largos, entre otras.

La decisión de qué tantos factores de incertidumbre considerar y de qué tan amplio debe ser el margen de seguridad, se ve influida por la forma en que se perciben los riesgos y por aspectos culturales y de otra índole, como ya se mencionó previamente. Así, por ejemplo, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, tiene un conjunto de factores de seguridad y la Unión Europea otros.

Evaluación de la bioacumulación

Algunas sustancias al ingresar a los organismos expuestos a ellas tienden a *acumularse*, lo cual se refleja en que alcanzan una concentración mayor dentro de los organismos que en los entornos que los rodean, e incluso que en los alimentos a partir de los cuales se produjo la exposición.

Bioconcentración: Acumulación de una sustancia química en un organismo al ingresar a él directamente del ambiente.

Bioacumulación: Acumulación de una sustancia química en un organismo como resultado de todas las rutas de exposición (alimentos, agua y sedimentos, entre otras).

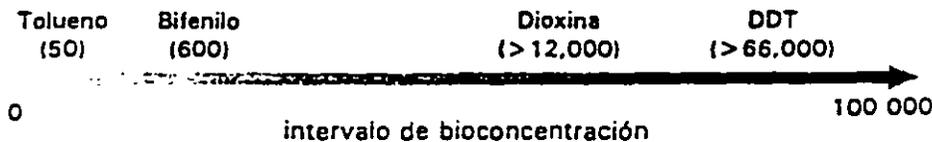
Biomagnificación: Tendencia de una sustancia química a acumularse a concentraciones más altas a través de niveles tróficos sucesivos en la cadena alimentaria (caso particular de bioacumulación que sucede con muy pocas sustancias, como PCBs y DDT).

A manera de ejemplo, en la figura 8 se indican los factores de *bioconcentración* (BCFs, por sus siglas en inglés) para peces de diferentes tipos de sustancias y se pone de relieve la gran capacidad de *bioacumulación* de compuestos orgánicos clorados como las dioxinas y el DDT. Es importante resaltar que la forma en que se acumulan

las sustancias en los organismos es como un gradiente continuo que puede separar por varios órdenes de magnitud a las sustancias poco acumulables de las altamente acumulables y biomagnificables; razón por la cual la decisión de denominar *bioacumulables* a ciertas sustancias con ciertos factores de concentración, a fin de controlarlas, es sólo una medida para distinguir las de aquellas que son consideradas poco riesgosas desde esta perspectiva.

Figura 8. Factores de bioconcentración de algunas sustancias (BCF)

$$BCF = \frac{[\text{Concentración en peces}]}{[\text{Concentración en agua}]}$$



Es importante destacar que una sustancia que se *bioacumule* no necesariamente significa que se constituye en un *riesgo*, lo cual depende de que además sea tóxica. También es útil llamar la atención sobre el hecho de que este comportamiento en realidad de lo que informa es de otra propiedad que influye en el destino de las sustancias que se emiten al ambiente. Por lo general, una sustancia que es *bioacumulable*, también suele ser persistente, características que, aunadas a la toxicidad, les confiere una prioridad alta para ser objeto de medidas de *reducción de riesgos*; afortunadamente, el número de sustancias detectadas a la fecha, que reúnen esas propiedades, es muy pequeño, menor a 50.

Evaluación del destino

En esta fase lo que se busca es conocer adónde y cómo van a parar las sustancias que se emiten al ambiente, con objeto de poder estimar la exposición potencial a ellas:

- ¿Al agua?
- ¿Al aire?
- ¿A los sólidos de los distintos estratos ambientales?
- ¿Se transforman en otras sustancias, mediante *hidrólisis*, *fotodegradación* o *biodegradación*?

Para contestar estas preguntas se puede recurrir a diferentes tipos de modelos que permiten predecir su destino como los que se resumen a continuación.

Modelos multi-media: Este tipo de modelos se utilizan para determinar el destino de las sustancias químicas a medida que éstas se degradan y se distribuyen en los diferentes estratos ambientales (es decir, aire, agua, suelo y sedimentos). Los resultados de este tipo de modelos se utilizan para 1) desarrollar y entender las propiedades químicas y ambientales más importantes que condicionan el des-

tino de las sustancias químicas, y 2) priorizar las pruebas y la simulación posterior mediante modelos de los medios ambientales en donde la exposición es más importante.

Modelación de ríos: Esta modelación puede hacerse en relación con un río específico (tomando en cuenta la localización de todos los puntos de descarga de las sustancias, el flujo y velocidad entre cada punto de descarga, o la entrada de afluentes y sus cargas), o bien en relación con una sustancia específica (considerando su concentración en las descargas y su tasa de descomposición en las corrientes de agua).

Modelación de sedimentos: Es sumamente importante en virtud de que gran número de sustancias terminan adsorbiéndose en los sedimentos, en particular en el fondo de los cuerpos de agua. En ellos viven numerosos organismos y se producen diversidad de reacciones que afectan el destino y comportamiento de dichas sustancias. Los sedimentos y los suelos representan reservorios de almacenamiento a largo plazo para algunas sustancias químicas.

Modelación de suelos: También se puede modelar el transporte y el destino de las sustancias en los medios terrestres, ya por que sean absorbidas por las plantas, adsorbidas en las partículas del suelo, o puedan llegar a los cuerpos de agua de consumo, en su forma original o tras de haber sido transformadas química o biológicamente.

Biodegradación: Es un proceso de fraccionamiento de las sustancias facilitado por la acción de organismos como las bacterias; si se lleva al extremo, se dice que se produce la *mineralización* de las sustancias al ser fraccionadas hasta formar otras más simples, como moléculas de agua, bióxido de carbono, metano y azufre, que sirven de nutrientes. Este proceso suele:

- reducir la concentración de las sustancias rápidamente,
- limitar su exposición a un grupo reducido de especies,
- disminuir el área donde puede ocurrir la exposición,
- reducir la duración de la exposición y
- aumentar el margen de seguridad

Por el contrario, diversos factores pueden afectar la biodegradación de una sustancia, tales como:

1. Las propiedades inherentes a las sustancias:
 - estructura
 - propiedades físicas y químicas
2. Las condiciones ambientales:
 - aspectos biológicos locales (por ejemplo, poblaciones microbianas),
 - condiciones físicas y químicas

Algunas sustancias sólo se degradan en presencia del oxígeno y otras sin presencia del mismo. La degradación primaria es el primer paso en la biodegradación (pérdida de las propiedades de la sustancia) y puede consistir en cambios pequeños (como la pérdida de un hidrógeno), sin verse alteradas sus propiedades. Si no sucede mineralización completa también se pueden formar nuevas sustancias con nueva toxicidad y nuevos riesgos.

Entre las pruebas de biodegradación pueden identificarse:

Pruebas rápidas: Difíciles de pasar. Estas son muy empleadas en la Unión Europea y son muy conservadoras, lo cual es bueno para una prueba de tamizado. Están diseñadas para determinar la biodegradación en condiciones conservadoras (bajas concentraciones de microorganismos y concentración alta de la sustancia química) que pueden darse en el ambiente.

Pruebas inherentes: Son más realistas y fáciles de pasar (y se centran ya sea en evaluar exposición prolongada, determinar aclimatación o en estudiar la relación sustancia/bacteria).

La prueba de tamizado Sturm: consiste en evaluar la descomposición de una sustancia en bióxido de carbono por la acción de bacterias provenientes de lodos de plantas de tratamiento o de sedimentos. Se trata de un proceso sencillo a través del cual se introduce una corriente de aire en un matraz cerrado que contiene la mezcla de la sustancia y las bacterias, la cual arrastra al bióxido de carbono desprendido de la sustancia degradada, para luego atraparlo en un tubo conteniendo hidróxido de bario y cuantificarlo, tomando en cuenta el tiempo de reacción.

La persistencia de una sustancia, a su vez, se establece determinando su vida media, es decir el tiempo que tarda en degradarse 50% de la misma; una sustancia persistente se caracteriza por tener vidas medias muy largas. Sin embargo, es necesario distinguir entre la vida media y los criterios de persistencia.

Si cada día se remueve 50% de una sustancia por degradación, al cabo de cinco días sólo resta 3% y se habrá removido más de 95%, por lo cual, una sustancia de esta índole es considerada como fácilmente degradable.

En resumen, al evaluar el destino de las sustancias, se ha mencionado cómo es esencial para predecir la exposición el definir los procesos físicos y químicos a los que se ven sometidas o sus características. A nivel de pretamizado podemos asumir que la sustancia no se biodegrada y la estimación de la exposición se hace con esa base, si los resultados indican que la sustancia presenta un riesgo bajo se detiene en esta etapa el proceso de evaluación de riesgos. Si la sustancia presenta un riesgo que no es tan bajo, se puede continuar la evaluación del destino, determinando la biodegradación de la sustancia y a donde va a parar en el ambiente (empleando distintos modelos).

Caracterización del riesgo

El último paso en este proceso se denomina *caracterización de riesgo*, que es la etapa en la que se realizan las comparaciones entre la concentración ambiental prevista (PEC, por sus siglas en inglés) a partir de la evaluación del destino de las sustancias, y la concentración que no produce efectos (PNEC, por sus siglas en inglés), o sea la obtención del cociente entre PEC/PNEC. Si ese cociente es menor a uno, se dice que la sustancia es de bajo riesgo.

El uso del término *bajo riesgo* es más apropiado que decir que una sustancia es segura, debido a que la palabra *seguro* implica un juicio de parte de quien maneja el riesgo. Lo que puede ser *seguro* bajo un escenario de uso puede no serlo bajo otras condiciones. Además, el uso de cualquier sustancia conlleva teóricamente cierto grado de riesgo, aun cuando éste pueda ser insignificante.

Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria

Por esta razón, muchos evaluadores de riesgos prefieren considerar a éstos como *aceptables* o *inaceptables*, más que en términos que impliquen una *seguridad* absoluta. Cuando la relación PEC/PNEC es mayor que 1, o la precisión de este valor no se considera como satisfactoria, el riesgo o la incertidumbre en los datos se consideran inaceptables. En cualquier caso, el uso de la sustancia o la exposición ambiental deben ser manejados cuidadosamente.

Los criterios para establecer riesgos ambientales varían en cierto grado entre culturas y sectores industriales. Claramente, los riesgos derivados de algunas sustancias (por ejemplo, los efectos colaterales de un medicamento que puede salvar la vida) pueden ser más aceptables que los riesgos de otras. La aceptación de riesgos depende en buena medida de cómo se percibe y se comunica el riesgo. Por ejemplo, ¿el riesgo es voluntario o involuntario? ¿El resultado es letal o catastrófico? El tema de percepción y comunicación de riesgo es un área activa de investigación entre los investigadores científicos, los sociólogos y los antropólogos.

EJEMPLOS DE CÓMO USAN LAS EMPRESAS Y LAS AUTORIDADES LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

Con frecuencia, los enfoques de manejo de sustancias químicas basados en el peligro se llevan al extremo cuando resultan en la prohibición del uso de sustancias independientemente de su aplicación específica. Las iniciativas regulatorias que generan listas de sustancias aceptables y no aceptables para industrias particulares, en vez de enfocarse en riesgos aceptables o inaceptables, pueden impedir la protección ambiental y constituir barreras al libre comercio. Esto se debe a que una sustancia con toxicidad relativamente baja pero con una amplia exposición o persistencia larga puede representar un riesgo ambiental más grande que una sustancia que es más tóxica pero que se degrada más rápidamente. De este modo puede ocurrir una designación deficiente de prioridades para las pruebas de seguridad química y de manejo de riesgos, y sustancias que presentan un riesgo significativo pueden ser descuidadas.

Sin duda, la evaluación de riesgo es más difícil de aplicar que el manejo de sustancias químicas basado en el peligro (es decir, en listas). La evaluación de riesgo es más compleja, requiere de mayor cantidad de información, tiempo y recursos; por esta razón es tentador utilizar enfoques basados en el peligro, que son más simples y más fáciles de armonizar. Sin embargo, el manejo de sustancias químicas basado en el riesgo se enfoca hacia riesgos reales y puede ser relacionado con acciones efectivas de manejo.

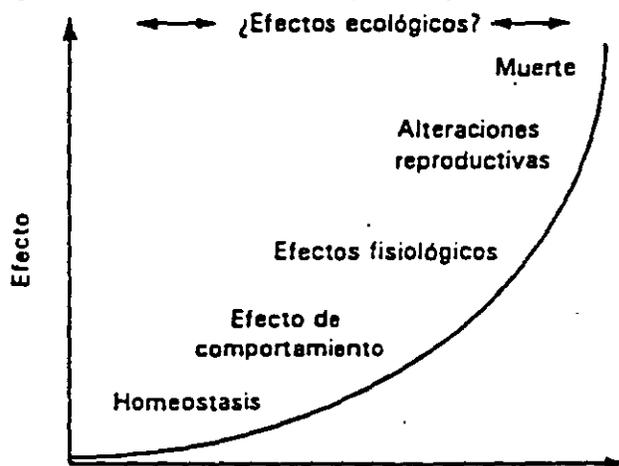
Una vez que se han resumido las bases y los métodos que se utilizan en las evaluaciones de riesgo de las sustancias químicas, se describirán algunos ejemplos de la manera en que puede utilizarse la evaluación de riesgo por la industria y el gobierno.

Existen dos enfoques generales de manejo de sustancias químicas. Uno se basa exclusivamente en el peligro que representan (es decir, en sus propiedades inherentes, sin considerar su uso o exposición) y el otro se basa en la evaluación de riesgo. Ambos tienen aplicaciones específicas apropiadas. Sin embargo, el uso inapropiado de la evaluación de los peligros puede resultar en problemas serios de seguridad ambiental y efectividad regulatoria, los cuales pueden acarrear consecuencias económicas severas.

La inclusión de frases de peligro en el etiquetado es un medio importante de alertar a la gente sobre situaciones potencialmente peligrosas. Signos de advertencia localizados en sitios donde se presenta un peligro físico (por ejemplo en coladeras abiertas o escaleras), en alimentos (para prevenir su ingestión por personas con alergia) o en productos del hogar (para prevenir ingestión o exposición accidental) son formas de manejo basadas en el peligro que se necesitan claramente para reducir la ocurrencia de lesiones. Ciertas propiedades químicas (por ejemplo la flamabilidad y la corrosividad, entre otras) también requieren de advertencias para evitar exposición accidental. Las advertencias, los usos controlados y procedimientos específicos de disposición son modalidades aceptadas para prevenir lesiones previsibles derivadas de los peligros de las sustancias químicas, es decir, manejo basado en el peligro.

La figura 9 hace referencia al concepto previamente señalado ya que muestra, para un nutriente, como el cobre, la dosis que puede convertir a una sustancia en un veneno. Es así que, en la base de la curva, se indica que el cobre es aprovechado y regulado por los mecanismos de homeostasis de nuestro organismo, sin embargo, al incrementarse paulatinamente la exposición puede comenzar a producir una variedad de cambios y efectos que culminan con alteraciones reproductivas y con la muerte del individuo expuesto a las dosis más altas.

Figura 9. Relación dosis-respuesta para un nutriente



Para ilustrar que el contexto y el uso de la sustancia son los que condicionan el riesgo, nuevamente se utiliza al cobre como ejemplo. Se sabe que es empleado como:

- catalizador industrial,
- nutriente,
- fungicida,
- en circuitos electrónicos,
- en monedas y
- como agente en investigación.

Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria

Del análisis de estos usos, se desprende que algunos son benéficos para la salud (como nutriente) y que otros no representan mayor *riesgo* (como moneda); otros más podrían conllevar *riesgos* menores (si se dispone inadecuadamente en los laboratorios de investigación); y otros mayores (si se elimina en exceso al ambiente en los procesos industriales y agrícolas).

Este ejemplo muestra como una sustancia química puede no requerir de regulación para todos sus usos, sino sólo para aquellos que constituyen un *riesgo*. No es el peligro, sino el *riesgo*, lo que motiva el manejo efectivo de ciertas tecnologías mientras que permite el uso continuo de otras.

ACTIVIDADES INTERNACIONALES RELACIONADAS CON LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

El capítulo 19 de la Agenda 21, sobre manejo racional de sustancias químicas, ha fijado por ejemplo como meta para el año 2000 realizar la *evaluación de los riesgos* de alrededor de 500 sustancias existentes en el comercio, que están llevando a cabo organismos multilaterales como la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), con el apoyo de organizaciones de las Naciones Unidas como el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS por sus siglas en inglés). Frecuentemente, estas evaluaciones sólo están centradas en la salud humana y se espera que se continúen con las de los *riesgos* para los ecosistemas.

Los métodos y bases de datos que se usan para realizar esas acciones, están siendo armonizados. En ello la OCDE tiene un papel de liderazgo así como la organización de estándares ISO, en tanto que al Registro de Sustancias Potencialmente Tóxicas (IRPTC, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas, se ha constituido en uno de los bancos de datos más completos sobre los resultados de las evaluaciones de la *peligrosidad* y el *riesgo* de las sustancias químicas. Un beneficio de estos esfuerzos es evitar gastos innecesarios por duplicación de esfuerzos y de pruebas, además de facilitar y compartir los procesos de evaluación a través de la colaboración.

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN.

Ante todo, es útil tener presente cuál es el universo de sustancias químicas que requieren ser evaluadas para definir en su caso medidas de gestión. Por ello, es importante tener presente que si bien actualmente existen alrededor de 100 000 en el inventario más grande de sustancias químicas, sólo unas 3 000 constituyen 90% del volumen total que se comercian, sólo cerca de 600 han sido objeto de alguna prohibición o restricción en algún país, y aproximadamente 15 están sujetas al procedimiento de control de importaciones promovido por las Naciones Unidas (Procedimiento de Información y Consentimiento Previo -PIC-). A su vez, la lista de compuestos orgánicos persistentes (POPs, por sus siglas en inglés), que la Organización de las Naciones Unidas promueve que sean objeto de un instrumento vinculante para lograr su eliminación, en virtud de su capacidad de movilización a grandes distancias y de sus *riesgos*, sólo reúne 12 sustancias. En tanto que la lista de sustancias *persistentes, bioacumulables y tóxicas* (PBTs), cuyos *riesgos* también son considerados inadmisibles, comprende a los POPs y a unos cuantos metales

Instituto Nacional de Ecología

El objetivo de la priorización debe ser identificar qué sustancias es necesario someter a la *evaluación de riesgos*, porque sus usos y los contextos en los que se producen hacen sospechar que pueden constituir un *riesgo* elevado. La necesidad de establecer prioridades denota tanto del tiempo tan largo que lleva el proceso, como de su costo y el esfuerzo que requiere realizar, por tal razón surge de antemano la idea de que el punto de partida para identificar a las sustancias que requieran en primer término ser evaluadas son aquellas que se producen en alto volumen y tiene un riesgo alto.

En virtud de lo anterior, algunos de los criterios que se siguen para establecer tales prioridades incluyen:

- Alto volumen
- Persistencia
- Bioacumulación
- Alta toxicidad

Una sustancia que combina los cuatro criterios es altamente probable que pueda ser un *riesgo*. Tomados por separado, los criterios no indicarían necesariamente a las sustancias más riesgosas.

Si se considera el criterio de bioacumulación, la siguiente es una escala para identificar el potencial de *riesgo*, basada en el factor de bioconcentración (BCF por sus siglas en inglés):

- $BCF > 5\,000 \Rightarrow$ potencial alto
- $5\,000 > BCF > 1\,000 \Rightarrow$ potencial moderado
- $BCF < 1\,000 \Rightarrow$ potencial bajo

Es importante hacer notar que prácticamente todas las sustancias se acumulan en los peces, por lo cual un BCF de 1 000 no es anormal en este caso.

Como ya se ha dicho previamente, los países varían en los criterios de bioacumulación que desencadenan el manejo regulatorio de las sustancias que son consideradas como bioacumulables, en función de sus *percepciones del riesgo*, sus metas y métodos empleados, lo cual se muestra con los siguientes ejemplos:

- Unión Europea \Rightarrow 100
- Canadá \Rightarrow 5 000
- Estados Unidos \Rightarrow 1 000

Evidentemente, entre más bajo sea el valor establecido, más grande será el número de sustancias que deberán ser consideradas como bioacumulables.

También los criterios de toxicidad muestran grandes diferencias entre países, como lo indican los siguientes ejemplos basados en pruebas de toxicidad realizadas en peces o *Daphnia* ($mg/l=1$ ppm):

- Toxicidad a corto plazo (aguda) \Rightarrow 0.1 a 100 mg/l
- Toxicidad a largo plazo (crónica) \Rightarrow 0.002 a 10 mg/l

De tales datos deriva la noción que dos países distintos pueden considerar a la misma sustancia tóxica o no.

Los criterios sobre persistencia están mejor armonizados, ya que existen menores diferencias entre países como se indica a continuación:

Gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas desde la perspectiva de la industria

- Aire ⇔ 2-4 días
- Agua ⇔ 1-6 días
- Suelo ⇔ 1-6 meses
- Sedimentos ⇔ hasta un año

La experiencia ha mostrado que las sustancias que reúnen los cuatro criterios citados pueden constituir un *riesgo* mayor, lo que llevó a promover el establecimiento de convenios internacionales para establecer esquemas de *reducción de riesgos* al respecto a nivel mundial. Sin embargo, debe resaltarse el hecho de que las medidas de gestión adoptadas pueden diferir según sea el tipo de sustancias y del modo de uso y liberación. Así por ejemplo, la mayoría de los *compuestos orgánicos persistentes* en la lista de los doce mencionados, han sido prohibidos en la mayoría de los países, en tanto que otros como el DDT aún se emplean en el combate al paludismo y su sustitución requerirá ofrecer alternativas viables para ser empleadas en países en desarrollo, dado que el DDT por su persistencia y bajo costo ha sido más accesible para economías con escasos recursos. A su vez, *sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables* de origen natural como los metales plomo y mercurio, no pueden por completo ser eliminadas del ambiente, además de que por sus propiedades no representan un *riesgo* mayor en todos sus usos y algunos de ellos siguen siendo considerados como esenciales, de manera que lo que se promueve es su sustitución en los usos no esenciales, la reducción al máximo posible de su liberación al ambiente y su manejo seguro y ambientalmente adecuado.

En resumen, se recomienda al establecer prioridades de *evaluación de riesgos*, emplear en su conjunto los cuatro criterios antes descritos, en función de las metas que se persigan y de los recursos de los que se dispongan, así como aprovechar los esfuerzos internacionales en curso.

CONCLUSIONES

A partir de esta discusión se espera que las compañías y organismos regulatorios puedan tener una mejor apreciación sobre la utilidad de aplicar técnicas de evaluación de riesgo en el manejo racional de sustancias químicas. Tal enfoque contribuye a asegurar que los riesgos ambientales reales sean identificados apropiadamente y caracterizados exhaustivamente. Las evaluaciones de riesgo contribuyen a establecer prioridades para el desarrollo de productos y procesos en una empresa, y establecer prioridades para el manejo de sustancias químicas. Acoplado con técnicas de manejo racional de riesgos, las evaluaciones de riesgo ambiental pueden contribuir a identificar acciones de manejo que pueden desarrollarse para reducir dichos riesgos de la manera más efectiva en términos de costo. Las compañías se benefician evitando el uso de sustancias químicas que presentan riesgos inaceptables, y por tanto evitan provocar daño a la gente, al ambiente y a su imagen corporativa. También se benefician manteniendo la libertad para innovar con nuevas tecnologías químicas que pueden servir para mejorar el perfil de riesgo de los ingredientes incluidos en sus productos.

Los gobiernos, al igual que las empresas, tienen recursos finitos que deben ser utilizados sensatamente. El manejo de sustancias químicas basado en el riesgo proporciona a los gobiernos muchos de los beneficios que brinda a la Industria. Estos

Instituto Nacional de Ecología

incluyen la detección temprana de problemas, el enfoque en problemas reales, y la identificación de opciones claras de manejo. Desde esta perspectiva la evaluación de riesgo ofrece beneficios no sólo en términos de protección a la salud humana y al ambiente, sino también en el ámbito económico, en términos de empleos y competitividad.

Para finalizar, es importante resaltar que el manejo racional de sustancias químicas basado en el riesgo debe ser una meta común de la Industria y el gobierno. No puede llevarse a cabo de manera independiente sin la participación de ambos. El desarrollo de pruebas y métodos de monitoreo avanzados, su aplicación para desarrollar los conjuntos de datos necesarios, y el acuerdo con relación a los principios para utilizar e interpretar las evaluaciones de riesgo, requieren de la participación y los recursos de los sectores público y privado. La cooperación intersectorial contribuirá a asegurar que las sustancias químicas sean utilizadas y manejadas de manera apropiada y segura, y así se facilite la armonización internacional.

ANEXO No. 1

CLASIFICACION DE LOS DESECHOS SOLIDOS HOSPITALARIOS PROPUESTA EN ESTA METODOLOGIA

A. Desechos no peligrosos de hospitales (desechos generales).

Son aquellos generados en las actividades administrativas, auxiliares y generales, que no corresponden a ninguna de las categorías siguientes: no representan peligro para la salud y sus características son similares a las que presentan los desechos domésticos comunes.

Se incluye en esta categoría a los papeles, cartones, cajas, plásticos, los restos de la preparación de alimentos, y materiales de la limpieza de patios y jardines, entre otros.

B. Objetos cortopunzantes (infectados o no).

Elementos cortopunzantes que estuvieron en contacto con pacientes o agentes infecciosos, incluyen agujas hipodérmicas, jeringuillas, pipetas de Pasteur, agujas, bisturís, mangueras, placas de cultivos, cristalería entera o rota, etc.: Se considera también cualquier cortopunzante desechado, aún cuando no haya sido usado.

C. Desechos infecciosos (excepto los objetos cortopunzantes infectados).

Son aquellos generados durante las diferentes etapas de la atención de salud (diagnóstico, tratamiento, inmunizaciones, investigaciones, etc), y que por tanto han entrado en contacto con pacientes humanos o animales. Representan diferentes niveles de peligro potencial, de acuerdo al grado de exposición que hayan tenido con los agentes infecciosos que provocan las enfermedades.

Estos requisitos pueden ser, entre otros:

a. Materiales provenientes de salas de aislamiento de pacientes

Desechos biológicos, excreciones, exudados o materiales de desecho provenientes de salas de aislamiento de

pacientes con enfermedades altamente transmisibles. Se incluyen a los animales aislados, así como también a cualquier tipo de material que haya entrado en contacto con los pacientes de estas salas.

b. Materiales biológicos

Cultivos, muestras almacenadas de agentes infecciosos, medios de cultivo, placas de Petri, instrumentos usados para manipular, mezclar o inocular microorganismos: vacunas vencidas o inutilizadas, filtros de áreas altamente contaminadas, etc.

c. Sangre humana y productos derivados

Sangre de pacientes, bolsas de sangre con plazo de utilización vencida o serología positiva, muestras de sangre para análisis, suero, plasma y otros componentes sanguíneos. También se incluyen los materiales empapados o saturados con sangre, materiales como los anteriores aún cuando se hayan secado, incluyendo al plasma, el suero y otros, así como los recipientes que los contienen o contuvieron como las bolsas plásticas, mangueras intravenosas, etc.

d. Desechos anatómicos patológicos y quirúrgicos

Desechos patológicos humanos, incluyendo tejidos, órganos, partes y fluidos corporales, que se remueven durante las autopsias, la cirugía u otros, incluyendo las muestras para análisis.

e. Desechos de animales

Cadáveres o partes de animales infectados, así como las camas o pajas usadas, provenientes de los laboratorios de investigación médica o veterinaria.

D. Desechos químicos y farmacéuticos (excepto los medicamentos citotóxicos)

Son aquellos generados durante las actividades auxiliares de los centros de atención de salud que no han entrado en contacto con los pacientes ni con los agentes infecciosos. Constituyen un peligro para la salud por sus características agresivas tales como corrosividad, reactividad, inflamabilidad, toxicidad y explosividad.

Estos desechos se generan principalmente en los servicios auxiliares de diagnóstico y tratamiento, directos complementarios y generales.

Estos desechos pueden ser, entre otros:

a. Desechos químicos peligrosos

Sustancias o productos químicos con características tóxicas, corrosivas, inflamables, explosivas, reactivas, genotóxicas o mutagénicas, tales como: quimioterapéuticos, antineoplásicos, productos químicos no utilizados, plaguicidas fuera de especificación, solventes, ácido crómico (usado en la limpieza de vidrios de laboratorio), mercurio de termómetros, soluciones para revelado de radiografías, baterías usadas, aceites lubricantes usados, etc.

b. Desechos Farmacéuticos

Medicamentos vencidos, contaminados, desactualizados, no utilizados, etc.

E. Otros desechos peligrosos.

Constituye un grupo de desechos peligrosos muy especiales que generalmente se encuentran en cantidades pequeñas, pero requieren un manejo y canal de eliminación específicos para cada uno: incluye los desechos radiactivos, los medicamentos citotóxicos y los envases presurizados.

RIESGOS BIOLÓGICOS DEL AMBIENTE HOSPITALARIO

AUTOR: Ing. Miriam Concepción Rojas
Master en Salud Ambiental

El riesgo biológico fundamental en el ambiente hospitalario lo constituye la infección nosocomial. Se denomina así a todo proceso infeccioso transmisible local o sistémico que aparece después de 48 horas de ingresado el paciente, durante su estadia o hasta 72 horas después del alta y que no hubiera evidencia de ello en el momento del ingreso. En resumen, son aquellas infecciones que se desarrollan en un hospital o son producidas por microorganismos adquiridos durante la hospitalización.

La palabra "nosocomial" proviene de nosocomio (hospital), del griego "nosos" (enfermedad) y "komien" (cuidar); por lo que el término de infección hospitalaria incluye todas las infecciones que se presentan en el hospital, excepto los casos en que el paciente ingresa con la infección activa o en período de incubación.

Las infecciones hospitalarias afectan a los pacientes, el personal del hospital (profesionales, técnicos y demás trabajadores) y a los visitantes.

Habitualmente estas infecciones se diagnostican durante la estancia del paciente en el hospital, pero no es raro que la infección clínica se manifieste una vez que éste ha sido dado de alta, especialmente en los casos de recién nacidos y de heridas quirúrgicas. El hospital no se encuentra aislado de la comunidad, sino que mantiene un intercambio continuo con ella.

Los agentes infecciosos que circulan por la comunidad se encuentran también en el hospital produciendo infecciones que aunque, por definición, son infecciones hospitalarias no implican responsabilidad de los mecanismos de funcionamiento del hospital. Sin embargo, muchas de las infecciones que se presentan en los pacientes hospitalizados, sea cual fuese su etiología, pueden relacionarse directa o indirectamente con determinados factores hospitalarios, y muy probablemente no se habrían presentado en otras condiciones.

Actualmente la infección hospitalaria continúa afectando al menos a un 5 - 10 % de los enfermos ingresados en un hospital, y estas cifras de incidencia permiten estimar unos 2 millones de infecciones al año, con una prolongación media de estancia de 3 días por infección, lo que supone un incremento importante del costo, junto con un aumento de la mortalidad, especialmente grave por tratarse de muertes potencialmente prevenibles. Se señala que el costo de las infecciones nosocomiales supera los 1 000 millones de dólares por año.

Dentro de un mismo hospital, el riesgo de infección varía con respecto al servicio en que ingresa el paciente. En general, las tasas de infección son mayores en los servicios quirúrgicos que en los médicos, y pueden destacarse áreas de mayor riesgo, como son: unidades de cuidados intensivos (UCI), quirófanos (salones de operaciones), servicios de neonatología, unidades de hemodiálisis y unidades de quemados. Otras áreas que merecen atención son: farmacia, laboratorio de microbiología, central de esterilización y lavandería.

Salón de operaciones: pacientes altamente susceptibles debido a la naturaleza de los procedimientos quirúrgicos y a la susceptibilidad del enfermo. Otros factores importantes son las condiciones ambientales, actividad del personal, lavado de las manos, preparación del paciente. Es importante además, la descontaminación y traslado de todo el material y desechos.

Unidad de cuidados intensivos: enfermos en estado crítico, los cuales, por la naturaleza de la enfermedad subyacente, son altamente sensibles a la infección. Influye la complejidad de los equipos a que están sometidos y la necesidad de una rápida acción, por lo que a veces las técnicas de asepsia y precauciones de aislamiento se descuidan. Por lo general, los procedimientos terapéuticos son muy invasivos.

Servicio de neonatología: pacientes altamente susceptibles, se producen frecuentes violaciones del lavado de las manos del personal.

Unidad de hemodiálisis: enfermos susceptibles que se exponen a un equipamiento complejo y difícil de descontaminar (transmisión de hepatitis B, septicemia bacteriana, pseudomonas, etc.).

Unidad de quemados: pacientes susceptibles que son frecuentemente afectados por brotes de Pseudomonas aeruginosa.

Farmacia: sus productos son considerados libres de patógenos; por ejemplo, los líquidos intravenosos con aditivos, etc.

Lavandería: debe garantizarse el cumplimiento de las normas en la manipulación y desinfección de la ropa.

EPIDEMIOLOGIA DE LA INFECCION NOSOCOMIAL

Si tenemos en cuenta la cadena epidemiológica de la infección nosocomial se puede apreciar que el agente causal es una bacteria, virus u hongo; la vía de transmisión es directa o indirecta y el susceptible es el paciente.

El conocimiento de la epidemiología de la infección hospitalaria no se limita al aspecto descriptivo del problema, sino que incluye también el estudio analítico de los factores que predisponen a la infección (factores de riesgo) y el desarrollo y evaluación de las medidas preventivas. El riesgo de un paciente está determinado por tres factores:

1.- La susceptibilidad inherente al individuo, condicionada por características como la edad, estado nutricional, naturaleza y gravedad de la enfermedad subyacente, etc. La edad es un factor de riesgo en edades extremas: niños menores de 1 año (especialmente prematuros) en los que los mecanismos de defensa están inmaduros, e individuos ancianos, que tienen estos mecanismos deteriorados. La enfermedad primaria influye en la predisposición, la malnutrición, diabetes, neoplasias, enfermedades del colágeno, etc., se acompañan de deficiente funcionamiento del sistema inmunitario. La acidosis altera la función leucocitaria y la hipotensión, el shock y cualquier otra causa productora de hipoperfusión; de ahí el mayor riesgo de infección en el shock,

la enfermedad cardíaca congestiva, la insuficiencia vascular y renal, y otros procesos. Enfermedades específicas predisponen a tipos particulares de infección, y las anomalías anatómicas que alteran los mecanismos de drenaje normales (como las alteraciones estructurales de las vías urinarias y respiratorias), favorecen la infección por el acúmulo de secreciones.

2.- Modificación de la susceptibilidad intrínseca del enfermo por tratamientos que recibe en el hospital. Numerosos fármacos, entre los que se destacan los corticoides y citostáticos y la radioterapia, producen un estado de inmunodepresión que permite la infección del paciente por gérmenes que, en condiciones normales, no serían patógenos para él. Las exploraciones diagnósticas agresivas, las intervenciones quirúrgicas y la presencia de cuerpos extraños, alteran los mecanismos de defensa permitiendo la entrada masiva de gérmenes. El tratamiento antibiótico con frecuencia se considera un determinante importante de infección hospitalaria. Sin embargo, dos efectos relacionados con los antibióticos condicionan profundamente la frecuencia de infección:

- a) la supresión de la flora comensal del huésped susceptible al antibiótico.
- b) la proliferación de los elementos de la flora comensal resistente a los fármacos administrados. Estos efectos son clínicamente evidentes en el tubo gastrointestinal, vías respiratorias superiores, vagina y piel, y son tanto más graves cuanto mayor sea el espectro del producto administrado.

3.- Exposición del enfermo a microorganismos potencialmente patógenos. Además de la alteración de las defensas del huésped, hay que considerar la mayor exposición del paciente hospitalizado por contacto directo o indirecto con otros enfermos infectados, la existencia de portadores asintomáticos entre el personal hospitalario, la excesiva instrumentación médica, la inadecuada organización hospitalaria, etc.

Entre los factores que influyen en la transmisión de la infección nosocomial se encuentran: las condiciones higiénico-sanitarias, por contaminación del aire, los fómites, los instrumentos, las manos y el agua y las soluciones.

Según el microorganismo que causa la infección, se pueden distinguir las infecciones endógenas y exógenas. Las primeras están causadas por microorganismos pertenecientes a la propia flora comensal del paciente, lo que habitualmente sucede cuando se altera el equilibrio entre las defensas del huésped y las bacterias saprofitas, bien porque disminuyen las defensas o porque por diversas razones los gérmenes incrementan su virulencia. Las infecciones exógenas se deben a microorganismos adquiridos desde una fuente externa al paciente. La fuente de infección puede encontrarse en otros pacientes, en el personal o en objetos inanimados (aire, alimentos, agua, medicamentos, sueros, agujas, jeringas, etc.).

Una tercera categoría, en que probablemente se pueden incluir la mayoría de las infecciones hospitalarias, es la adquisición exógena de la flora, seguida de la infección endógena. En primer lugar, el paciente adquiere la flora del hospital que pasa a formar parte de sus microorganismos comensales; posteriormente, al producirse una alteración de las defensas, se desarrolla una infección hospitalaria endógena que no está causada por la flora original del huésped, sino por la flora característica del hospital.

Prevalencia de los agentes patógenos.

- **Endógena** (microorganismos procedentes del propio paciente): Se debe a algún fenómeno que predispone al enfermo a sufrir una infección por su propia flora, debido a un desequilibrio entre la microflora del huésped y sus mecanismos de defensa.
- **Exógena** (microorganismos procedentes de una fuente externa del paciente): Personal o ciertos objetos inanimados, tales como el aire, alimentos, agua, medicamentos, o instrumental (agujas, jeringuillas, catéteres, etc).
- **Exógena seguida de infección endógena**: El huésped adquiere la microflora de la institución, que pasa a formar parte de su propia microflora (desequilibrio), se produce una infección hospitalaria, esta infección no está producida por la microflora autóctona del huésped, sino por la microflora resistente a los fármacos.

Los esfuerzos para mantener un ambiente hospitalario limpio han disminuido el riesgo de infección en el último siglo, pero la mayoría de los patógenos que causan enfermedad actualmente, no pueden eliminarse por técnicas de higiene ambiental. Por tanto, los esfuerzos más recientes para reducir el riesgo de infección se han enfocado hacia la manera de prevenir la transmisión de la enfermedad y al mismo tiempo disminuir la susceptibilidad del huésped.

Las infecciones de origen exógeno se propagan principalmente por contacto y por vehículos contaminados, rara vez por vía aérea y casi nunca (en los hospitales modernos) por insectos y roedores. La mayor parte de las infecciones exógenas son transmitidas por contacto directo a través de las manos de las enfermeras, médicos, auxiliares y el resto del personal. De esta manera se extienden no sólo los gérmenes gram positivos (como los estafilococos), sino también la contaminación de las manos es responsable de muchas infecciones por gram negativos. El aislamiento de los pacientes con infecciones seleccionadas y el lavado cuidadoso de las manos entre cada contacto del personal con los enfermos, son las principales medidas para prevenir la transmisión. El contagio por contacto indirecto por medio de secreciones contaminadas ocurre en el caso de enfermedades como las infecciones respiratorias viricas e infecciones estafilocócicas y estreptocócicas.

Vehículos contaminados, tales como las medicaciones, alimentos e instrumentos médicos, son el segundo mecanismo de transmisión en importancia. Muchos gérmenes gram negativos pueden ser capaces de proliferar en ambientes húmedos, algunas cepas de *Pseudomonas aeruginosa* pueden multiplicarse en el agua destilada, otros microorganismos pueden contaminar incluso los antisépticos y desinfectantes, y se ha descrito la transmisión de infecciones por medio de la contaminación de amonio cuaternario, yodóforos y clorhexidina diluida. Las infecciones transmitidas por vehículos contaminados pueden ser esporádicas, o al actuar como una fuente común, causar brotes epidémicos.

Ejemplos de reservorios y vías de transmisión de los patógenos hospitalarios más frecuentes

Agente	Reservorio	Vías de transmisión
Streptococcus pyogenes (Grupo A)	Pacientes y personal del hospital.	Contacto, o a través del aire.
Staphylococcus aureus	Pacientes y personal del hospital	Contacto (rara vez por el aire)
Escherichia coli	Flora del huésped	Infección endógena
Klebsiella spp	Pacientes y personal Flora del huésped	Contacto Infección endógena
Proteus spp	Líquidos y objetos contaminados Flora del huésped	Contacto Infección endógena
Pseudomona aeruginosa	Personal asintomático Flora del huésped Líquidos y objetos contaminados Pacientes infectados	Contacto Infección endógena Contacto Contacto, o por el aire
Virus Hepatitis B	Secreciones y excreciones de pacientes infectados o de personal portador	Contacto, rara vez el aire

Ante una situación epidemiológica debemos evaluar en las áreas de mayor riesgo los siguientes factores:

- **Control del personal hospitalario:** El muestreo rutinario del personal hospitalario en busca de portadores microbianos se recomienda sólo en caso de brotes.

- **Control de instrumentos, equipos y materiales para uso en pacientes:** Los objetos que se ponen en contacto con la mucosa deben ser esterilizados por vapor u óxido de etileno, de no ser posible, al menos deben recibir un elevado nivel de desinfección. Debe realizarse el muestreo microbiológico periódico para asegurar la ausencia de patógenos tras el procesamiento, ya que éstos pueden ser responsables de una infección cruzada. La investigación de bacteriemia asociada con la terapia parenteral requiere del estudio de la aguja y el catéter o porciones del equipo de administración del líquido.

- **Muestreo del aire:** La propagación aerógena de las infecciones nosocomiales bacterianas o de otro tipo, es poco probable. Las partículas en suspensión en el aire del hospital varían considerablemente de tamaño y número de gérmenes que pueden contener. Los muestreos se realizan según criterios epidemiológicos en placas de sedimentación o con equipos volumétricos. Hay que tener en cuenta el flujo del aire, la adecuada recirculación del aire, la manipulación de la ropa sucia y los desechos, así como del material desechable del laboratorio de microbiología.

- **Suelos y otras superficies:** No existe evidencia de que algún particular nivel de contaminación esté directamente relacionado con un mayor riesgo de infección.

- **Control de alimentos:** Las fórmulas de los lactantes y la leche deben ser controladas al menos una vez por semana, seleccionando los frascos al azar de cada lote preparado. Del resto de los alimentos se conservarán muestras testigos para su análisis en caso de brotes. Es importante tener en cuenta el transporte, manipulación y almacenamiento de alimentos, así como la limpieza y desinfección de los utensilios.

- **Examen del agua:** El agua que satisface los criterios de potabilidad contiene con frecuencia microorganismos, algunos de los cuales pueden ser patógenos u oportunistas. El hallazgo de un NMP de 2,2 o más colonias mediante la prueba de tubos múltiples, o más de 4 colonias por 100 ml mediante la prueba de filtrado por membrana, es considerado no satisfactorio para el agua potable.

DESINFECCION HOSPITALARIA

La desinfección es un proceso que utiliza técnicas físicas o químicas para eliminar, matar, inactivar o inhibir a los microorganismos encontrados en el ambiente hospitalario. La desinfección puede ser:

- **Concurrente:** Aplicación de medidas de desinfección de materiales infecciosos del paciente o de objetos contaminados, lo más rápido posible.

- **Terminal:** Desinfección después del egreso, aislamiento o defunción del paciente. Usualmente se realiza limpieza general.

Conceptos fundamentales.

- **Desinfectante:** Es el agente (por lo general un producto químico) empleado para matar las formas vegetativas de los microorganismos patógenos que se encuentran sobre superficies u objetos inanimados, pero no necesariamente las formas resistentes o esporas; generalmente son tóxicos para los diferentes tejidos.

- **Antisepsia:** Es un procedimiento mediante el cual se logra inactivar, inhibir o disminuir el número de microorganismos presentes en el tejido vivo.

- **Antiséptico:** Es un compuesto químico empleado en el proceso de antisepsia.

- **Asepsia:** Es un procedimiento mediante el cual se logra mantener un material o tejido libre de

gérmenes patógenos.

- **Germicidas:** Son aquellos agentes que matan las formas vegetativas de los gérmenes, pero no necesariamente las formas resistentes esporuladas.

- **Bactericidas:** Son aquellos agentes que causan una acción letal sobre los microorganismos; acción que es irreversible.

Los germicidas químicos se clasifican en tres niveles :

* alto (esporicidas)

óxido de etileno
glutaraldehído 2 %
formaldehído 8 % (70 % etanol)
peróxido de hidrógeno 6-10 %

* intermedio (fungicidas y algunos virucidas)

iodóforos 75-150 mg/l
yodo + alcohol (0.5 % en etanol 70 %)
compuestos de cloro 500-5000 mg/l
compuestos fenólicos 1-3 %
yodo acuoso 1 %

* bajo (bactericidas y fungicidas)

clorhexidina 0,75-4 %
hexaclorofeno 1 %
compuestos mercuriales 0,1-0,2 %

Factores que influyen en la efectividad bactericida de los desinfectantes químicos en soluciones

- Concentración del desinfectante
- Temperatura de la solución
- Tiempo de acción del desinfectante
- Cantidad de microorganismos presentes
- Presencia de sustancias orgánicas
- Tipo de microorganismo (las formas vegetativas más susceptibles que las esporuladas)
- Naturaleza del material que ha de tratarse.

Características que debe reunir un buen desinfectante

- Toxicidad para los microorganismos (amplio espectro de acción a baja concentración)
- Solubilidad en agua y líquidos tisulares
- Estabilidad (mantener la acción germicida)
- Inocuidad para el hombre y los animales
- No ser corrosivo

ESTERILIZACION HOSPITALARIA

La esterilización tiene como finalidad la eliminación de toda vida microbiana, para lo cual se apoya en un concepto teórico probabilístico de acuerdo a la cinética exponencial de muerte microbiana. Este proceso está sujeto en la práctica a pruebas empíricas de laboratorio que corroboran su efectividad, considerándose como estéril aquella preparación que al cultivarse no es capaz de manifestar crecimiento en un medio de cultivo determinado.

Etapas del proceso de esterilización

Las etapas de este proceso son tres: pre-esterilización, esterilización propiamente dicha y post-esterilización.

La pre-esterilización es un proceso constituido por la descontaminación, la limpieza y el empaquetamiento de instrumentos reutilizables, artículos y equipos empleados en el cuidado del paciente.

Una buena limpieza del material antes de la esterilización permite eliminar la materia orgánica existente en cada instrumento o material (sangre, mucus, proteínas, etc.), la que inactiva a los desinfectantes y protege a los microorganismos de los agentes esterilizantes. Permite además, eliminar la carga bacteriana existente y disminuir los tiempos de esterilización. Es importante el cumplimiento de las normas establecidas para la limpieza de cada instrumental.

Los valores admisibles de UFC (unidades formadoras de colonias) en el material antes de la esterilización son:

Calor húmedo	10 ² U.F.C.
Calor seco	10 ³ U.F.C.
Oxido de etileno	10 U.F.C.

La envoltura tiene como finalidad proteger el material esterilizado de una contaminación microbiana después que sale de la cámara de esterilización, durante la transportación o en el almacenamiento, debiendo garantizar su esterilidad hasta el punto de uso. La envoltura dependerá del método de esterilización a emplear, la naturaleza de los objetos a esterilizar y las condiciones de transportación y almacenamiento.

Todo set o paquete que va a ser esterilizado debe ser roturado con la fecha de esterilización y el número del equipo y operario, para conocer el ciclo de rotación del mismo. Además, se debe tener presente colocar en el interior de los paquetes de prueba los indicadores químicos y biológicos.

Los materiales que más se utilizan para el empaquetamiento son:

- Textiles (algodón, muselina, algodón-poliéster).
- Papel: Kraf (doble envoltura), bolsas de papel o bolsas mixtas.
- Recipientes metálicos: Deben poseer filtros bacterianos o pequeños orificios para la penetración del agente esterilizante.
- Bolsas de polyamide, polietileno o mixtas para la esterilización por óxido de etileno.

aseguramiento de la esterilidad se recomienda:

- Dosis mínima absorbida 2,5 Mgy
- Tiempo de exposición 1-2 días

La dosis absorbida depende de la fuerza o potencia de la fuente, el tiempo de exposición y la densidad de los materiales. Importantes factores a considerar son el número y resistencia de los microorganismos a la radiación.

Métodos químicos

1) Esterilización por óxido de etileno.

Este gas es un germicida de amplio espectro debido a su propiedad alquilante, ya que reemplaza un átomo de hidrógeno que está disponible en algunos grupos químicos de moléculas proteicas, provocando alteraciones irreversibles sobre el metabolismo celular de los microorganismos. El método se utiliza para la esterilización de materiales termolábiles que no soportan el calor y en los que el fabricante recomienda su uso.

Los parámetros que regulan el proceso son: temperatura, humedad relativa, concentración del gas, presión y tiempo.

La detoxificación se realiza en 4 - 8 horas a temperaturas de 40 - 60 °C, y se someterá el material a aeración hasta 6 días para el escape del gas residual.

Existe riesgo tóxico en el personal que labora en las cámaras de óxido de etileno, por exposición e inhalación del gas que en determinadas condiciones da lugar a la aparición de síntomas, tales como: náuseas, vómitos, desorientación y trastornos neurológicos, entre otros.

También hay riesgo de intoxicación debido a la presencia de óxido de etileno residual en los materiales esterilizados. Su hidrólisis da lugar a la formación de etilenglicol, compuesto altamente tóxico, y a la formación de clorhidrina por la interacción del gas con moléculas de cloro. El óxido de etileno es altamente irritante y se considera como un tóxico protoplasmático.

Diferentes autores describen que el gas residual en diferentes materiales de uso médico ha provocado daños tales como quemaduras en las manos por la utilización de guantes indebidamente tratados, trastornos hemolíticos en pacientes a los que se ha realizado cateterismo venoso y aparición de traqueitis por el uso de tubos endotraqueales mal tratados. Además, se describen problemas respiratorios severos, pàralisis de las cuerdas vocales, inflamación de la tráquea y laringe, entre otras.

2) Esterilización en cámara de formaldehido.

El formaldehido es un gas incoloro, inflamable, irritante y penetrante, que se utiliza para esterilizar materiales termolábiles. El material debe estar limpio y seco, para permitir la efectividad del agente esterilizante.

Método mecánico

En este método lo más utilizado en el ámbito hospitalario es la filtración, para lo cual se utilizan filtros de membrana que retienen los microorganismos. Pueden ser de porcelana, membranas, etc., con poros inferiores al diámetro del microorganismo. Un método muy utilizado es el filtro de Zeith.

POST ESTERILIZACION

Consiste en el almacenamiento, conservación y transporte del material estéril hasta su uso. En las salas de almacenamiento son de vital importancia las condiciones de climatización que protejan los materiales de las altas temperaturas y la humedad relativa. Las temperaturas no deben exceder los 25 °C y la humedad relativa de 35-75 %, a fin de evitar la contaminación del material estéril.

El almacenamiento puede realizarse en estantes abiertos o cerrados que permitan la limpieza y desinfección concurrente y terminal. Es importante que cada set tenga la fecha de esterilización, lo cual permite conocer el ciclo de rotación que es de 7 días. El material sólo debe permanecer hasta 24 horas en las salas, consultas y cuerpos de guardia, y después de abierto un set, sólo permanecerá en la sala durante un turno de trabajo.

La higiene del área es un factor importante, así como la higiene del personal que labora en dichas áreas, el lavado frecuente de las manos y el uso de ropa adecuada, gorro y nasobuco. Se prohíbe la entrada de personal ajeno, el transporte de los materiales debe realizarse en carros cerrados o abiertos cubiertos con paños estériles que puedan ser lavados y desinfectados. La distancia mínima que debe mantener el material del piso es de 30 cm y la iluminación, al menos de 110 lúmenes por metro cuadrado.

CONTROL DEL PROCESO DE ESTERILIZACION

El control de la efectividad del proceso de esterilización puede llevarse a cabo de dos formas: directa o indirecta

En la forma directa se controla el material propiamente dicho, consiste en la siembra del material o una alícuota del mismo en diferentes medios de cultivo para determinar crecimiento microbiano.

La forma indirecta utiliza agentes físicos o mecánicos, químicos y biológicos como indicadores de la efectividad del proceso.

1.- Control físico o mecánico.

Se realiza utilizando diferentes sistemas de registro de la temperatura, presión y tiempo. Para el control de la temperatura se emplean: termómetros de máxima, medición de colores y la fusión de materiales de temperatura conocida. Para el control de la temperatura-tiempo se realizan mediciones termoeléctricas por termopares y se utiliza la modificación de los cuerpos fundidos, entre otros métodos.

2.- Control químico.

Se utilizan dispositivos diseñados y calibrados para detectar fallos en los parámetros de esterilización. Su función principal es controlar la homogeneidad de la carga o lote de esterilización. Su colocación se realiza en el interior de paquetes donde se presume sea más difícil que penetren los agentes esterilizantes. Por sí solos no constituyen prueba de esterilidad y son complemento necesario de los controles biológicos y demás elementos de control.

3.- Control biológico.

Se emplean dispositivos inoculados con esporas de diferentes especies de bacilos (en dependencia del tipo de esterilización), especialmente resistentes a los agentes de esterilización, los cuales deben cumplir las exigencias de calidad y estandarización. No sólo deben ser preparados biológicos de microorganismos, sino deben contener poblaciones de edad y características similares y concentraciones fijas mínimas aproximadas a 10^4 UFC. Su empleo es sencillo y seguro, permitiendo no sólo monitorear la cámara interna del equipo, sino diseñar los sistemas de control de los diferentes procesos.

Los microorganismos más utilizados son:

- Bacillus stearothermophilus (ATCC 7953), para calor húmedo,
- Bacillus subtilis var. niger, para calor seco y óxido de etileno,
- Bacillus subtilis var. globigii, para óxido de etileno,
- Bacillus pumilis, para radiaciones.

El conjunto de elementos destinados a medir la eficacia de un proceso de esterilización se denomina prueba biológica. En estas pruebas se utilizan controles biológicos, pero nunca debe confundirse un control con una prueba. Puede decirse que el control biológico sirve para realizar pruebas biológicas y que un control por sí sólo no constituye generalmente una prueba biológica.

Los paquetes de prueba biológica en el autoclave se colocarán en:

- Uno cercano a la puerta y en la parte baja de la cámara.
- Uno cercano a la puerta y en la parte superior de la cámara.
- Uno en el centro geométrico de la carga.

VALIDACION DEL PROCESO DE ESTERILIZACION

Es el conjunto de pruebas físicas, químicas y biológicas que miden la eficacia de un proceso de esterilización. La validación es una operación que entraña diversas etapas que engloban la totalidad de los elementos de un proceso de esterilización. Cuando, como en el caso de los hospitales, no sea posible definir una carga fija de material a esterilizar, se recurre al método "del caso más desfavorable", que consiste en analizar el proceso para el material y carga más difícil de procesar.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN CONTROL DE LOS RESIDUOS
GENERADOS EN HOSPITALES Y CENTROS DE
SALUD**

MÓDULO II

**IMPACTO Y RIESGO A LA SALUD Y AL AMBIENTE
RELACIONADOS CON EL MANEJO DE RESIDUOS
BIOLÓGICO-INFECCIOSOS**

TEMA

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE RESIDUOS PELIGROSOS

**CONFERENCISTAS
DRA. ELVIRA SANTOS SANTOS
Q. IRMA C. GAVILÁN
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

TIPOS Y CARACTERISTICAS DE RESIDUOS PELIGROSOS

Dra. Elvira Santos/Q. Irma C. Gavilán

Materiales y residuos corrosivos.

De acuerdo a lo señalado en el Diario Oficial mexicano, (NOM-052-ECOL-1993), del día viernes 22 de octubre de 1993, un material y un residuo se considera peligroso cuando:

- En solución acuosa presenta un pH menor o igual a 2, ó mayor o igual a 12.5.
- En estado líquido es capaz de corroer el acero al carbón (SAE 1020) a una velocidad 6.35 milímetros por año y a una temperatura de 55°C.

Solución acuosa:

Cualquier solución donde el agua es el componente principal, significa que el agua constituye al menos el 50 % en peso de la muestra.

Los efectos de la corrosividad.

La corrosividad indicada por el pH, se escogió como característica de identificación de un material y residuo peligroso, debido a que los materiales y residuos con alto o bajo pH, pueden reaccionar peligrosamente con otros materiales y/o residuos o causar contaminantes tóxicos que migren de ciertos residuos.

Ejemplos de materiales y residuos corrosivos incluyen materiales y residuos ácidos y salmueras usada en la manufactura del acero. La corrosión del acero es el primer indicador de un material o residuo peligroso ya que es capaz de corroer el acero de los tambores que contienen sustancias y liberarlas.

Los materiales corrosivos se usan típicamente como agentes limpiadores en la fabricación de metales, electroplastia y mantenimiento de vehículos.

A continuación se listan ejemplos de materiales usados comúnmente que son corrosivos:

- Acido acético.
- Acido nítrico.
- Hidróxido de amonio.
- Hidróxido de potasio.
- Acido crómico.
- Acido perclórico.
- Acido fosfónico.
- Etc.

La palabra corrosión se deriva del latín "corrodere" y podría traducirse como una destrucción lenta, constante e irreversible de un metal y/o una aleación metálica, al reaccionar con su medio ambiente.

El término "corrosión" bien podría usarse en otras sustancias que se deterioran, se rompen o se oxidan químicamente o electroquímicamente. Tal sería el caso del concreto, el vidrio o materiales refractarios y no precisamente de un metal.

En algunos casos, la sustancia es atacada por microorganismos como: bacterias, hongos, los cuales se "comen" el material o generan ácidos o álcalis que dañan al mismo; a este fenómeno se le conoce con el nombre de corrosión bacteriana.

La importancia del estudio del fenómeno de corrosión.

Economía.

La corrosión causa pérdidas directas, obliga al mantenimiento y recubrimiento y en alguno de los casos, al reemplazo de estructuras, tubos, válvulas, etc. incluyendo la mano de obra.

La corrosión causa pérdidas indirectas.

Debido a fugas de agua, contaminación de producto, paros en la producción, disminución de eficiencia por incrustaciones, disminución de transferencia de calor por equipo agotado, explosiones, hospitalización, pérdidas de vidas, pago de indemnizaciones.

Seguridad industrial.

Obliga a conservar en buenas condiciones de operación los equipos que se tienen en la planta, para garantizar la seguridad, tanto del personal como de las instalaciones.

Ambientes en los que se puede dar la corrosión.

Por reacción química directa o reacción electroquímica:

la combinación directa sucede cuando existe una reacción entre el metal y otros elementos no metálicos, por ejemplo:



la corrosión por reacción electroquímica sucede en presencia de líquidos conductores de la electricidad (electrolitos). La mayor parte de la corrosión es causada por líquidos.

Según el medio corrosivo:

- Gas (corrosión gaseosa).
- Líquido (corrosión acuosa o no acuosa).
- Tierra (corrosión subterránea).

Formas comunes de corrosión.

Galvánica.

Consiste en la unión de dos metales con diferente posición en la serie electromotriz (la forman los potenciales de oxidación o reducción de cada elemento, dicho potencial ha sido obtenido al comparar cada elemento funcionando como hemipila, contra la hemipila de hidrógeno o calomel), ver anexo 1. Tal sería el caso del Fe unido al Cu.

Ataque uniforme.

La superficie metálica expuesta, se ve sometida a reacciones químicas y electroquímicas uniformemente sobre los metales, tales como: tubos abandonados, varillas amontonadas sin pintar, láminas de coches sin pintura etc.

Picadura.

Consiste en un tipo de corrosión localizado en un área muy pequeña, la reacción se realiza en forma vertical, lo que da como resultado un agujero en el metal.

Separación.

Es un tipo de corrosión selectiva. Dificilmente se puede considerar el uso de metales puros en los grandes equipos industriales, normalmente es hierro con alguno o algunos otros elementos. Lo cual da como resultado la formación de aleaciones, de las cuales se separa, se oxida o se disuelve un metal en particular y no precisamente el hierro.

Intergranular.

Es un tipo de corrosión muy localizada que ocurre en los límites de los granos que constituyen un metal o aleación. Este tipo de corrosión, resulta especialmente dañino, ya que produce pérdidas significativas de resistencia y ductibilidad.

Erosión.

La corrosión por erosión, se caracteriza por la aparición de muescas, canales, curvas, agujeros redondos, valles, etc.

Efectos de la corrosividad.

La corrosión de los metales alcanza proporciones insospechadas, pues se calcula que el tonelaje de metales ferrosos destruidos anualmente por la corrosión representa la cuarta parte de la producción anual de los mismos. Los principales agentes de corrosión son: la atmósfera de las ciudades de las costas marinas (Golfo de México, donde la corrosión es elevada por la ayuda de los vientos dominantes del noroeste que entra a las ciudades) y las ciudades con centros industriales, cargada la atmósfera con grandes cantidades de gases sulfurosos desprendidos por la combustión de las industrias, los hogares y las aguas de lluvias que arrastran las impurezas atmosféricas y contienen, aunque en ínfimas cantidades, ácido nítrico y sulfúrico.

Materiales y residuos reactivos.

Un residuo se considera peligroso por su reactividad, según la norma NOM-052-ECOL-1993, cuando:

- Bajo condiciones de golpe, presión, temperatura o espontáneamente se descompone, combina o polimeriza vigorosamente.
- Es normalmente inestable y se combina o transforma violentamente sin detonación.
- Reacciona con el agua y forma mezclas potencialmente explosivas o genera gases, vapores o humos en cantidades, para provocar desequilibrio ecológico o daños al ambiente.
- Posee en su constitución sustancias que cuando se exponen a condiciones de pH adecuadas pueden generar gases, vapores o humos en cantidades suficientes que constituyan un riesgo para el ambiente.
- Es capaz de producir radicales libres.

Materiales con combustión espontánea (DOT).

- Material pirofórico, líquido o sólido inclusive en pequeñas cantidades que puede inflamarse sin una fuente externa de ignición.
- Material autocalentable, que al contacto con el aire o sin una fuente externa de energía aumenta su temperatura.

Material peligroso húmedo (DOT).

- Material que en contacto con el agua es capaz de inflamarse espontáneamente, o producir gases inflamables o tóxicos.

Sólido inflamable (DOT).

- Explosivos húmedos.
- Materiales autorreactivos que son capaces a temperatura normal o elevada de producir una descomposición exotérmica muy enérgica.
- Sólidos que pueden causar fuego, por fricción o inflamarse (polvos metálicos).

Peróxidos e hidroperóxidos orgánicos:

- Estos compuestos, pueden ser considerados como derivados del peróxido de hidrógeno. Son empleados industrialmente para inducir la polimerización por radicales libres, una reacción química esencial en la producción de plásticos.
- Estas sustancias, pueden ser líquidas o sólidas, aunque frecuentemente se encuentran disueltas en agua o en otro disolvente orgánico.
- Como los peróxidos inorgánicos, los orgánicos también son agentes oxidantes, conteniendo oxígeno activo, por lo que son capaces de soportar una combustión. Estos compuestos también son sustancias inflamables.
- La combustión de inflamabilidad y oxígeno activo en los peróxidos orgánicos resulta en fuegos que pueden arder más intensamente que otras sustancias inflamables, pero el principal peligro es su descomposición muy acelerada; algunos son extremadamente sensibles a la fricción, calor y golpes.
- Los peróxidos orgánicos son compuestos químicamente incompatibles con varias sustancias como ácidos minerales, además su descomposición es fuertemente acelerada cuando están mezclados con compuestos metálicos.

Diferentes tipos de reactividad.

Reactividad de metales.

El agua puede reaccionar con diversos materiales peligrosos en una diversidad de maneras; puede reaccionar con una sustancia para formar un producto inflamable, explosivo, tóxico o corrosivo.

Estas reacciones de descomposición con el agua son llamadas de manera genérica hidrólisis.

Los materiales alcalinos, son los más reactivos de los metales, este grupo de elementos son comúnmente considerados peligrosos por su riesgo de fuego y la mayoría de ellos pueden autoinflamarse y todos son reactivos al agua.

Algunos metales, en forma de partículas finas o polvos pueden representar un riesgo de incendio y explosión, siendo importante la pureza del material, ya que si existe óxido en la superficie el riesgo disminuye, materiales de este tipo son: el Magnesio, Zinc, Titanio, Aluminio y Zirconio. Otros factores que afectan el potencial de explosión son: el tamaño, distribución y dispersión de las partículas, contenido de humedad, temperatura de ignición y la cantidad de gases absorbidos en especial el oxígeno. Estos metales pirofóricos, también son reactivos al agua, particularmente cuando el metal está caliente, siendo la velocidad de producción función de la pureza del material.

Reactividad de compuestos organometálicos.

Otro grupo importante de materiales reactivos utilizados en la industria, son los constituidos por los compuestos organometálicos, estos son usados frecuentemente como catalizadores de polimerización. Aproximadamente 50 compuestos están disponibles comercialmente y varios de estos resultan ser piroforicos y se descomponen con el agua, por ejemplo: Dietilo de zinc, Tetraetilo de plomo, compuestos de alquilaluminio, etc.

Reactividad de hidruros metálicos.

Estas sustancias son usadas industrialmente como agentes reductores, por ejemplo, hidruros de metales alcalinos, de aluminio o boro. A menos que se calienten, hasta su punto de fusión; estos compuestos son relativamente estables, no obstante, también representan varios peligros, en especial reaccionando con el agua, incluyendo a la humedad atmosférica, formandose hidrógeno combustible. También reaccionan violentamente con agentes oxidantes.

Reactividad de peróxidos metálicos.

Estos compuestos son, especialmente peligrosos como oxidantes, pero también son reactivos al agua. En la industria son importantes los peróxidos de metales alcalinos y alcalino-térreos, como el peróxido de sodio y peróxido de bario, los cuales son sólidos blancos usados principalmente como agentes oxidantes y para iniciar las polimerizaciones.

Reactividad de fosforuros y carburos metálicos.

El principal producto industrial, de este tipo de compuestos es el carburo de calcio, que es usado como fuente de producción de acetileno, reaccionando con el agua.

Reactividad de cloruros metálicos y no metálicos.

Estos compuestos reaccionan con el agua a veces violentamente para formar cloruro de hidrogeno y/o ácido clorhídrico, que es un gas corrosivo, tóxico e irritante. Ejemplo de ellos son: cloruro de tionilo, cloruro de sulfurilo, cloruro de aluminio, etc.

Existen otros compuestos orgánicos como el anhídrido acético y el cloruro de acetilo, que al reaccionar con el agua forman ácido acético.

Materiales y residuos explosivos.

Un residuo se considera peligroso de acuerdo por su explosividad, a la NOM-052-ECOL-1993, cuando:

- Es más sensible a golpes o fricción que el dinitrobenzeno.
- Es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25°C, y a una atmósfera de presión.

El uso, producción y comercialización de materiales explosivos, está regulado en México por la Ley Federal de Armas de Fuego y Explosivos, así como por su reglamento (Diario Oficial del 11 de enero de 1972).

Quedando consideradas las siguientes sustancias: polvoras, ácido pícrico, dinitrotolueno, nitroalmidones, nitroglicerina, nitrocelulosa, nitroguanidina, tetril, petn, trinitrotolueno, fulminato de mercurio, nitruro de plomo, plata y cobre, dinamitas y amatoles, estifanato de plomo, nitrocarbonitratos, ciclonita, y en general toda sustancia, mezcla o compuesto con propiedades explosivas, así como sustancias químicas relacionadas con explosivos como: cloratos, percloratos, sodio metálico, magnesio en polvo y fósforo, y todas aquellas sustancias que por sí solas o combinadas sean susceptibles para emplearse como explosivos.

Las fábricas de pólvoras, explosivos, artificios o sustancias químicas relacionadas con los explosivos, mencionados anteriormente, deberán contar con permiso expedido por la Secretaría de la defensa, según el artículo 35 del reglamento de la referida ley.

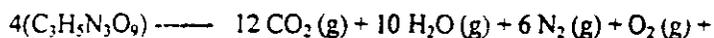
Clasificación de materiales explosivos según la DOT.

- Explosivos que contienen una masa explosiva.
 - Explosivos que presentan un peligro de proyección, pero no una masa explosiva.
 - Explosivos que presentan peligro de incendio y un peligro menor de proyección y/o de explosión.
 - Explosivos con un peligro menor de detonación.
 - Materiales extremadamente insensibles.
-
- A) Explosivos primarios.
 - B) artículos conteniendo un explosivo primario.
 - C) Propelentes o deflagrantes o materiales conteniendolos.
 - D) Explosivos secundarios o polvo negro o materiales. Conteniendolos, sin carga inicializadora ni propelente.
 - E) Artículos conteniendo un explosivo secundario sin carga inicializadora y con carga propelente.
 - F) Artículos conteniendo un explosivo secundario con carga inicializadora, con o sin carga propelente.
 - G) Sustancia pirotécnica o material conteniendolo.
 - H) Artículo conteniendo un explosivo y fosforo blanco.
 - I) Artículo conteniendo un explosivo y un líquido o gel inflamable.
 - J) Artículo conteniendo un explosivo y una sustancia tóxica.
 - K) Sustancia explosiva o material conteniendolo, que represente un riesgo especial.
 - L) Artículos conteniendo una sustancia extremadamente insensible.

Explosión.

Una reacción redox, exotérmica y muy rápida, que genera grandes cantidades de energía y de gases, por lo cual produce un incremento de presión y una onda de choque.

Por ejemplo la reacción de descomposición de la nitroglicerina:



Notar que no se requiere de oxígeno para que se verifique la reacción, ya que tanto el agente reductor como el oxidante se encuentran en la misma molécula. Por otra parte, el volumen se incrementa aproximadamente 10.000 veces.

Existen algunos grupos activos pirotécnicamente hablando, llamados "explosóforos", tales como las azidas (N_3) y los grupos nitro (NO_2).

Otra clasificación de explosivos es la siguiente:

- 1.- Explosivos fuertes o primarios: son aquellos que se descomponen por detonación.
- 2.- Explosivos ligeros o secundarios: son aquellos que deflagran, es decir, que se queman progresivamente durante un periodo sostenido.
- 3.- Explosivos pirotécnicos: son aquellos que involucran grandes cantidades de calor, pero producen menos gases.

A continuación se presenta una tabla de las propiedades de reacción de los diversos materiales reaccionados con una explosión:

	COMBUSTIBLE	PROPELENTE	EXPLOSIVO
VELOCIDAD DE REACCION (m/s)	0.000,001	0.01	2,000 - 9,000
TIEMPO DE REACCION (s)	0.1	0.001	0.000,001
ENERGIA (J/g)	10,000	1,000	1,000
PODER (W/cm ₂)	10	1,000	1,000,000.000
PRESION DESARROLLADA MPa	0.07 - 0.7	0.7 - 700	7,000 - 70.000

A continuación se presenta una tabla de las velocidades a las que una explosión viaja según el tipo de explosivo:

Material	Velocidad (m/s)
Nitroglicerina	8,500
Pent	8,100
Tetryl	7,700
Acido picrico	7,400
Trinitrotolueno	7,400
Azida de plomo	4,900
Fulminato de mercurio	4,800
Nitrato de amonio	1,100
Explosivos leves	1,000

Se ha encontrado que la velocidad a la que una explosión viaja, es proporcional a la densidad o grado de compactación del material y del tipo del mismo.

La distancia necesaria para que una onda de choque de una primera explosión produzca la detonación de una segunda muestra, es función de la cantidad de energía producida y del medio de propagación de la onda

Materiales y residuos tóxicos.

Las sustancias químicas que se producen en la industria, han participado en el mejoramiento de las condiciones de vida para el ser humano, pero también muchos de los subproductos o residuos que resultan de los procesos de transformación industrial son indeseables por no tener utilidad inmediata y/o por ser altamente tóxicos.

Cuando estos desechos industriales son tratados y depositados inadecuadamente, poniendo en peligro la salud humana y el ambiente. Los efectos tóxicos derivados de la exposición, pueden manifestarse a corto plazo, generalmente cuando la exposición es aguda, o bien a largo plazo, cuando la forma de exposición es de dosis bajas durante mucho tiempo.

Se conocen bien los efectos inmediatos de las exposiciones humanas ocupacionales, ambientales o accidentales, que van desde dolores de cabeza, irritación pulmonar y dérmica, hasta daño serio en el funcionamiento hepático y del sistema nervioso.

Se ha observado, en poblaciones que viven cerca de desechos peligrosos, un incremento en la incidencia de cancer gastrointestinal, anomalías reproductivas y malformaciones congénitas.

Cuando queremos evaluar el daño en el ser humano por la exposición a sustancias tóxicas, el estudio epidemiológico, es el más adecuado, sin embargo, este tipo de estudio es complicado, largo y los resultados son difícilmente demostrables, debido a la gran cantidad de factores a los que los individuos están expuestos.

Un residuo tóxico es aquel que puede causar daño a los seres vivos, ya sea como resultado directo o indirecto de su efecto contaminante.

La toxicidad de un residuo, depende principalmente de la capacidad inherente de las sustancias que lo contienen, para producir efectos adversos en el organismo (locales y sistemáticos), en función de la cantidad (dosis) absorbida (por inhalación, ingestión o la piel) y del tiempo y grado de exposición (aguda y crónica).

Conocer que componentes hacen a un residuo peligroso por su toxicidad, puede resultar muy difícil. Normalmente se han hecho análisis y determinaciones, para los que se consideran tóxicos, de acuerdo a la legislación: existiendo una gran cantidad de sustancias que se saben tóxicas, aunque no rebasen los límites máximos permisibles o no estén legisladas.

En este capítulo se trata de dar una descripción bioquímica de las sustancias, y de señalar ampliamente sus efectos tóxicos, para que las características específicas especiales que como residuos peligrosos tienen, desde el punto de vista de la salud humana y la vida.

Toxicología.

Definición.

La toxicología, es el estudio del comportamiento de los agentes químicos y/o físicos que interactúan con sistemas biológicos para producir una respuesta fisiológica.

La toxicología Industrial, es aquella que estudia los efectos fisiológicos humanos por exposición a materiales dañinos en el ambiente industrial (laboral).

La toxicidad, es la capacidad relativa de una sustancia para causar daño, una vez que alcanza un sitio susceptible en el cuerpo humano. Por lo general, se ha medido la toxicidad en función de la capacidad cancerígena. Sin embargo, se pueden provocar otros daños, como alteraciones del metabolismo, lesiones en diversos órganos y tejidos, irritaciones, que también son importantes de considerar.

Los factores que determinan el grado de peligro por exposición a los residuos peligrosos, son su toxicidad, estado físico, presión de vapor, solubilidad, composición, volumen, humedad, temperatura ambiente y ventilación del área, entre otros. El conocimiento de cada uno de estos factores es muy importante para la evaluación de posibles daños a la salud y el ambiente.

Sin embargo, mientras que existen amplios estudios e información abundante sobre sustancias puras, prácticamente no hay información respecto a los efectos combinados de dos o más sustancias tóxicas, y en una matriz variable (agua, aire y suelo), como el caso de los residuos. Esto es, si un residuo contiene una sustancia tóxica, el residuo será tóxico por esta misma sustancia, pero su comportamiento general será diferente que el de la sustancia pura.

Por esto, una de las metodologías más utilizadas para evaluar la toxicidad de un residuo, es su análisis químico, para determinar la toxicidad o no de sustancias que se saben tóxicas por sí mismas.

Clasificación de toxicidad.

Las sustancias, por su toxicidad pueden dividirse en 3 grupos, que son: ligeramente tóxico, moderadamente tóxico y altamente tóxico.

Esta clasificación se basa, principalmente en los efectos producidos (local y sistemático) en el cuerpo humano, por exposición (aguda y crónica) a los residuos tóxicos.

a) Ligeramente tóxico:

Aguda local.- Materiales y residuos que en cortas exposiciones, intensas, de segundos, minutos u horas, causan efectos ligeros en la piel, o membranas mucosas, independientemente de la duración de la exposición o de la cantidad absorbida.

Aguda sistemática.- Materiales y residuos que pueden ser absorbidos en el cuerpo por inhalación, ingestión (oral) o a través de la piel (dérmica), y que producen únicamente efectos ligeros después de cortas exposiciones intensas de segundos, minutos u horas, o después de la ingestión de una simple dosis, sin considerar la cantidad absorbida o la duración de la exposición.

Crónica local.- Materiales y residuos que en continuas o repetidas exposiciones prolongadas por periodos de días, meses o años, pueden causar únicamente daño ligero reversible a la piel o membranas mucosas. La duración de la exposición puede ser grande o pequeña, así como la cantidad de material y residuo involucrado.

Crónica sistemática.- Materiales y residuos que pueden ser absorbidos en el cuerpo por inhalación, ingestión o a través de la piel y que producen sólo efectos ligeros reversibles, después de continuas o repetidas exposiciones prolongadas por días, meses o años. La duración de la exposición puede ser grande o pequeña.

En general, aquellos materiales y residuos considerados como ligeramente tóxicos, producen cambios en el cuerpo humano, que son fácilmente reversibles y los cuales desaparecen después de terminada la exposición, ya sea con o sin asistencia médica.

b) Moderadamente tóxico:

Aguda local.- Materiales y residuos que en cortas exposiciones intensas de segundos, minutos u horas, causan efectos moderados en la piel, ojos o membranas mucosas. Estos efectos pueden ser el resultado de exposición intensa por unos segundos o exposición moderada por unas horas.

Aguda sistemática.- Materiales y residuos que pueden ser absorbidos en el cuerpo por inhalación, ingestión o a través de la piel y los cuales producen efectos moderados después de cortas exposiciones intensas de segundos, minutos u horas, o después de la ingestión de una dosis simple.

Crónica local.- Materiales y residuos que en continuas o repetidas exposiciones prolongadas por periodos de días, meses o años, causan daño moderado a la piel, ojos o membranas mucosas.

Crónica sistemática.- Materiales y residuos que pueden ser absorbidos en el cuerpo por inhalación, ingestión o a través de la piel y que producen efectos moderados después de continuas o repetidas exposiciones prolongadas por periodos de días, meses o años.

Los materiales y residuos de toxicidad moderada pueden producir cambios tanto irreversibles como reversibles en el cuerpo humano. Estos cambios no son de tal gravedad como para amenazar la vida o producir serios daños físicos.

c) Altamente tóxico:

Aguda local.- Materiales y residuos que en cortas exposiciones intensas de segundos y minutos, causen daños a la piel o membranas mucosas de suficiente seriedad para amenazar la vida o causar daño físico permanente.

Aguda sistemática.- Materiales y residuos que pueden ser absorbidos en el cuerpo por inhalación, ingestión o a través de la piel y los cuales pueden causar daños graves para amenazar la vida, después de una corta exposición intensa de segundos, minutos u horas, o después de la ingestión de una dosis simple.

Crónica local.- Materiales y residuos que en continuas o repetidas exposiciones prolongadas por periodos de días, meses o años, pueden causar daño a la piel o membranas mucosas de suficiente seriedad para amenazar la vida o producir daño permanente, deformación o cambio irreversible.

Crónica sistemática.- Materiales y residuos que pueden ser absorbidos en el cuerpo por inhalación, ingestión o a través de la piel y que puedan causar la muerte o serios daños físicos, después de continuas o repetidas exposiciones de pequeñas cantidades por prolongados de días, meses o años.

En esta última clasificación, los materiales y residuos tóxicos pueden causar cambios irreversibles en el organismo humano de suficiente severidad para producir daños graves a la salud.

Factores que intervienen en la toxicidad.

El cuerpo humano posee mecanismos naturales para protegerse en contra de la acción adversa de sustancias extrañas.

Un mecanismo, es proporcionado por la acción normal de órganos específicos, que tienen la capacidad de convertir sustancias tóxicas en otras de menor peligro o en compuestos que son eliminados más rápidamente.

Como lo anterior, los agentes tóxicos, pueden ser modificados en su estructura química, acumulados temporalmente en órganos o tejidos y/o eliminados directamente.

De hecho, el cuerpo no siempre es capaz de proteger contra toda materia extraña. La acción tóxica depende de varios factores que deben considerarse, entre los más importantes, están:

Material y residuo químico	Composición: propiedades físicas y químicas, cantidad.
Exposición	Dosis: concentración, ruta de absorción, duración.
Ambiente	Agua, aire, suelo, alimentos, sustancias químicas adicionales presentes, temperatura, presión, humedad.
Individuo	Inmunología, sexo, nutrición, predisposición a enfermedades, hormonas, herencia, salud, edad.

Ref. Curso de Residuos Peligrosos impartido por la U.N.A.M., expuesto por la Dra. Liliana Saldivar, Mexico D.F. Nov. 1993.

Dentro de estos factores uno de los principales y de mayor influencia es la **exposición**, esta se refiere a la cantidad de material y/o residuo químico que actúa sobre un organismo vivo receptor. La frecuencia de exposición es crítica, en función de la concentración en el organismo y del órgano donde actúa.

Si la exposición no es muy frecuente, se produce un daño poco apreciable, si existe entre cada exposición en el tiempo suficiente para que el cuerpo elimine el residuo y regrese a su estado original. Cuando la exposición es con mayor frecuencia de manera que no exista ese tiempo requerido, el daño se incrementa progresivamente.

Factores de los que depende la toxicología.

Del compuesto:

- Características químicas
- Biotransformación
- Asociación a macromoléculas
- Bioconcentración
- Excreción
- Interacciones

Del receptor:

- Especie
- Edad
- Sexo
- Susceptibilidad individual
- Estado nutricional
- Características genéticas
- Estado de integridad del organismo blanco

De la exposición:

- Ruta ambiental
- Via de exposición
- Dosis
- Frecuencia

Ambiente en que los receptores se desenvuelven:

Doméstico: la exposición depende de:

- Hábitos personales
- Pasatiempos
- Uso de medicamentos, cosméticos, plagicidas, etc.

Ocupacional:

- Duración de jornadas de trabajo
- Características del proceso de trabajo
- Antigüedad en el trabajo
- Insumos y materias primas que utilice
- Características físicas del lugar de trabajo
- Implementación de medidas de protección y control

Comunal la exposición puede ser por contaminación de:

- Aire
- Agua
- Alimentos
- Suelo

Exposición múltiple:

- Aditivo
- Sinergismo
- Potenciación
- Antagonismo

Rutas de exposición:

- Respiratoria
- Digestiva
- Dérmica

Rutas de eliminación:

- Renal
- Respiratoria
- Digestiva

Existen diferentes tipos de exposición.

- Exposición aguda.

Se refiere a una corta duración de exposición de segundos, minutos u horas, causando una reacción inmediata y se aplica a materiales y residuos que son absorbidos a través de la piel; y aplicados a materiales y residuos que son ingeridos, se refiere generalmente a una simple cantidad o dosis.

- Exposición subaguda o subcrónica.

Se refiere a exposiciones de duración intermedia (entre aguda y crónica). En este tipo de exposición, el individuo es expuesto a los materiales y residuos repetidamente, durante un relativo corto tiempo (algunos días o semanas), antes de que sean notados efectos adversos.

- Exposición crónica.

Se refiere a una repetida o prolongada duración de exposición de días, meses o años, no causa reacción inmediata, pero produce efectos en el cuerpo por largos periodos de tiempo, debido a la acumulación del tóxico en el cuerpo; y se aplica a materiales y residuos que son absorbidos a través de la piel; y aplicados a materiales y residuos que son ingeridos, se asignan a repetida dosis por un periodo de días, meses y años.

El término crónico no se refiere exclusivamente a la seriedad de los síntomas, pero si tiene la implicación por exposición o dosis que podrían ser relativamente dañinos excepto por prolongados o repetidos periodos largos de tiempo (días, meses o años).

En ciertos casos se produce una **exposición latente**, en donde el daño o enfermedad permanece sin descubrirse hasta después de largo tiempo de iniciada la exposición.

Rutas de absorción.

Las diferentes etapas de un tóxico dentro del organismo, desde que entra hasta que es eliminado, son: exposición, absorción, distribución, eliminación o acumulación.

Se considera que un material y/o residuo es absorbido solamente cuando ha entrado en la corriente sanguínea y es llevado a todas partes del cuerpo. Si es ingerido y luego eliminado del organismo sin cambio aparente, no necesariamente ha sido absorbido, aunque pueda haber permanecido dentro del tracto gastrointestinal por horas o días.

Existen varias formas por las cuales un individuo puede ser expuesto a un contaminante químico; las tres rutas principales y comunmente encontradas son: **oral, dérmica e inhalación**. La exposición puede ser por una sola ruta o por combinación de varias.

Las propiedades físicas, químicas y composición del material y/o residuo, determinan que rutas de absorción produzcan los efectos tóxicos.

- Absorción a través de la piel:

En general, los residuos son absorbidos más lentamente y en menor grado a través de la piel, que por el tracto gastrointestinal o los pulmones; por consiguiente, los efectos tóxicos pueden ser menos probables que ocurran cuando el contaminante es derramado sobre la piel.

Hay materiales y residuos que son más tóxicos cuando son derramados sobre la piel que cuando son ingeridos. La principal diferencia de esto es el gran tamaño de la molécula de una sustancia química respecto a otras, y por lo tanto, la facilidad de absorción.

Normalmente, los líquidos se absorben más fácilmente, puesto que su concentración es alta en un particular sitio de contacto; la capacidad favorece su absorción.

Por lo tanto, los materiales y residuos que son absorbidos a través de la piel, además de entrar en la sangre causan daños adversos en el sitio donde actúan.

- Absorción oral.

La ingestión accidental es la forma más común de intoxicación, el factor principal que contribuye a esto, es el manejo antihigiénico de los materiales y de los residuos.

La ingestión de los materiales y residuos tóxicos pueden dañar directamente los tejidos de la boca o del tracto digestivo en el sitio de contacto, son metabolizados por el organismo en otros compuestos tóxicos o no tóxicos, o son absorbidos a través de la pared intestinal entrando a la corriente sanguínea.

En este último caso, la sangre disemina las sustancias hacia varios órganos o tejidos del cuerpo.

El tracto gastrointestinal absorbe muchos químicos tóxicos; el grado y la velocidad de absorción son determinados por su solubilidad, formación de complejos alimenticios y la acción de enzimas digestivas, así como del sitio de absorción y del área que puede ser expuesta.

- Absorción por inhalación.

La inhalación de aire contaminado es el más importante medio de envenenamiento que entra al organismo. Los materiales y residuos pueden ser emitidos por varias fuentes hacia la atmósfera en diferentes formas, dependiendo de su estado físico, concentración y factores ambientales. Existen diferentes formas de exposición; la del medio en general y la del trabajo, que se da por periodos más prolongados.

Estos últimos constituyen un serio problema de exposición, considerando que una persona, en condiciones moderadas de trabajo respira en un promedio de 10 m^3 de aire en un periodo normal de 8 horas.

Una sustancia química es inhalada no necesariamente es absorbida en la sangre; una cierta cantidad de partículas finamente divididas permanecen suspendidas en los alveolos y luego son exhaladas. Otras pueden ser atrapadas por las membranas mucosas, las cuales regulan el paso del aire y son introducidas en la tráquea. Después pasa a la membrana alveolar, entran a la corriente sanguínea y son llevadas a través del cuerpo, y pueden ser depositadas en varios tejidos u órganos.

Dosis.

La dosis es el grado de exposición de un organismo a una sustancia tóxica. El efecto observado del tóxico es la respuesta.

La dosis es el factor más importante que determina si puede ocurrir una enfermedad o daño como resultado de la exposición hacia un material o residuo tóxico específico. Esto permite concluir que no hay sustancia o residuo completamente seguro y que ninguno es completamente dañino.

La toxicidad de los diferentes materiales químicos, varía y está expresada como datos de dosis respuesta por una notación estandar.

A) Dosis letal media (DL_{50})

B) Concentración letal media (CL_{50})

- C) Dosis letal baja (DL_{10})
- D) Concentración letal baja (CL_{10})
- E) Dosis efectiva media (DE_{50})
- F) Dosis tóxica baja (DT_{10})
- G) Concentración tóxica baja (CT_{10})

Los términos referentes a dosis, son cuando el material y residuo tóxico es ingerido o por contacto con la piel, las concentraciones se refieren al material y residuo tóxico cuando es inhalado.

Los datos de dosis y concentraciones letal media, son un estimado estadístico en el cual morirá el 50% de una población de animales de prueba de laboratorio y proporcionan un rango relativo de la toxicidad de un material y residuo.

Utilizando un valor determinado de DL_{50} (mg/kg) y multiplicando por el peso promedio humano, se puede suponer el potencial tóxico de una sustancia hacia humanos; asumiendo que pueden ser tan sensibles a determinados tóxicos, como las especies de prueba.

Sin embargo, la DL_{50} se hace con experimentos en animales y por eso mismo no es absolutamente cierta la extrapolación hacia humanos si no que es simplemente una medida relativa.

Por lo tanto, debido a que resulta difícil hacer extrapolaciones, solamente debe considerarse como una aproximación del peligro de un material y residuo tóxico.

En algunos casos, las pruebas de toxicidad no estiman una DL_{50} o CL_{50} ; sino que la letalidad reportada es la dosis o concentración más baja a la cual algunos animales morirán (DL_{10} o CL_{10}). Estos datos son usados cuando los valores medios no se encuentran disponibles.

La dosis efectiva media (DE_{50}), es la dosis necesaria para producir cualquier efecto específico en el 50% de los animales de prueba. El efecto puede ser un grado específico de inhibición de una enzima o la producción de un tumor, por ejemplo.

Los datos de dosis respuesta pueden también usarse para estimar el margen de seguridad que existe entre cortas y largas exposiciones a un agente químico.

Comparando DE_{50} y DL_{50} mediante la forma DL_{50}/DE_{50} , es posible determinar un factor que represente el incremento fraccional en toxicidad entre pequeñas y grandes dosis.

Si por ejemplo, la DE_{50} de una sustancia es 5 y su DL_{50} es 50, entonces sus efectos letales ocurren a un nivel de dosis que es 10 veces mayor que una dosis que no produzca daño.

Las dosis y concentraciones tóxicas bajas (DT_{10} y CT_{10}), indican la cantidad mínima de una sustancia cuando actúa sobre cualquier periodo de tiempo y produce ciertos efectos tóxicos.

Todos estos parámetros son únicamente datos experimentales y no indican los efectos tóxicos que pueden ocurrir a diferentes niveles de dosis.

De hecho, todas estas medidas lo único que indican son muerte de individuos, y por lo tanto, son dosis muy elevadas. Existen otras medidas, como el límite máximo permisible, en el cual no se toma en cuenta muertes, sino otros efectos como número de tumores, enfermedades, disminución de facultades o bioacumulación.

Además, hay otros factores en relación a la dosis que pueden determinar la posibilidad de daño por exposición, estos son:

1.- **Ruta de absorción;** es importante determinar si el material o residuo tóxico fue ingerido, inhalado o derramado sobre la piel, o como en la mayoría de los casos, la exposición fué causada por alguna combinación de estos.

2.- **Composición y estado físico del material o residuo tóxico.**

3.- **Temperatura.**

4.- **Humedad.**

5.- **Condición fisiológica del sujeto.**

6.- **Interacción del material o residuo tóxico con otras sustancias químicas.**

En la tabla siguiente, se muestran los rangos para dosis y concentraciones letales para diferentes rutas de absorción y en función del nivel de peligrosidad.

E x p o s i c i ó n			
Efectos	Inmediatos	Unica	Repetitiva
	Mediatos		
		Intoxicación aguda	Hipersensibilidad
	Efectos retardados	Intoxicación crónica	

Ref. Curso de Residuos Peligrosos impartido por la U.N.A.M., expuesto por la Dra. Liliana Saldivar, México D.F. Nov. 1993

Nivel máximo permisible.

Un método de expresar niveles tóxicos para diferentes sustancias químicas, es el nivel máximo permisible **nmp**, que se refiere a la concentración máxima de un elemento o compuesto químico que no debe superarse en la exposición.

Debe notarse que la DL_{50} representa valores derivados experimentalmente, mientras que el **NMP** es arbitrariamente establecido en base a información disponible de experiencia industrial, de experimentos humanos y estudios en animales, y cuando es posible, de una combinación de ellos.

El **NMP** representa concentraciones del contenido en el aire y las condiciones bajo las cuales se estima que casi todos los trabajadores pueden ser repetidamente expuestos en un día de trabajo normal de 8 horas (40 horas a la semana), sin efectos dañinos.

El **NMP** en área de trabajo es menor que el **NMP** ambiental, ya que se supone que un trabajador esta expuesto más tiempo y más directamente a la sustancias en un ambiente laboral que fuera de él.

Debido a una amplia variación en susceptibilidad individual, un pequeño porcentaje de trabajadores puede experimentar incomodidad hacia algunas sustancias químicas a concentraciones iguales o debajo del **NMP**; un pequeño porcentaje puede ser afectado más seriamente por agravar una condición pre-existente o por el desarrollo de alguna enfermedad.

La causa por la cual los límites maximos pueden ser excedidos por cortos periodos sin daño a la salud, depende de varios factores tal como la naturaleza del contaminante; y si esta en concentraciones muy altas

(incluso por cortos periodos) produce envenenamiento agudo, si los efectos son acumulativos; la frecuencia con la cual ocurre la alta concentración; y la duración de tales periodos. Todos los factores deben tomarse en consideración para llegar a la decisión de que existe una condición peligrosa.

No obstante, el hecho de que ningún daño serio es esperado que ocurra como un resultado de exposición de niveles máximos permisibles de concentración, la mejor medida de Higiene Industrial es mantener las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, a niveles tan bajos como sea posible.

Materiales y residuos inflamables.

La inflamabilidad es la característica usada para definir la peligrosidad de aquellos materiales que pueden causar fuego o explosión durante su transporte, almacenamiento o manejo en su proceso (tanto de manufactura como de uso).

Muchos son los factores que contribuyen a que ocurra un incendio o una explosión, sin embargo, los componentes esenciales son:

- Materiales combustibles.
- Oxidantes (oxígeno en el aire).
- Energía de ignición (calor).

La normatividad mexicana (NON-052-ECOL-1993), define a un residuo peligroso por su inflamabilidad cuando:

- En solución acuosa, contienen más del 24% de alcohol en volumen, entendiéndose por solución acuosa aquella cuyo principal componente es agua, esto significa que el agua contribuye, al menos el 50% del peso de la muestra.
- El líquido tiene un punto de inflamación inferior a 60°C.
- No es líquido, pero es capaz de causar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos y, cuando prende, arde vigorosa y persistentemente.

Inflamabilidad.

La facilidad con que un material (gas, líquido o sólido) puede arder, tanto espontáneamente (pirofórico) por exposición a un ambiente de alta temperatura (autoignición) como a chispa o llama abierta. Incluye también la velocidad de propagación de una llama una vez se ha iniciado. Cuanto más fácil es la ignición, más inflamable es el material: los minerales que se encienden menos fácilmente se dice que son combustibles, pero a menudo la línea de demarcación es imprecisa, y depende del estado de subdivisión del material así como la naturaleza química.

Punto de inflamación (Flash Point).

Temperatura mínima a la cual un líquido da vapor suficiente para formar una mezcla con el aire, la cual en contacto con alguna flama o fuente de ignición prenderá cerca de la superficie del líquido o dentro del recipiente de prueba. La mezcla inflamable es aquella que se encuentra dentro del rango de inflamabilidad y es capaz de propagar flama lejos de la fuente.

El punto de inflamación es determinado por diferentes procedimientos de prueba:

El "TAG CLOSED TESTER", es usado para estudiar líquidos que tienen una viscosidad menor de 5.836 A 38°C. y se espera que tengan un punto de inflamación menor a 93°C.

El "PENSKY MARTENS CLOSED TESTER", es un método para la determinación de la **Temperatura de Inflamabilidad** en aceites combustibles, aceites lubricantes, con sólidos en suspensión y líquidos que tiendan a formar una película en la superficie bajo las condiciones de prueba. Líquidos con un punto de inflamabilidad por debajo de 37.8°C., los cuales tienen una viscosidad de 5.8 cST ó más a 38.8°C Y 9.5 cST A 25°C.

El "SETA FLASH CLOSED TESTER" ha sido aceptado como una alternativa de los dos anteriores, este procedimiento puede ser utilizado para determinar el punto de inflamabilidad de una muestra, o bien para saber si un producto inflamará o no a una temperatura específica (inflama o no inflama).

Otros métodos son:

"CLEVELAND OPEN CUP TESTER", usado para líquidos de alto punto de inflamación.

"TAG OPEN CUP TESTER", usado para líquidos de bajo punto de inflamación, cuando se desea tener datos representativos sobre el comportamiento del líquido en tanques abiertos. Resulta mejor para disolventes que para materiales viscosos.

Límites de inflamabilidad.

Para cualquier mezcla de gas, vapor y aire, existe una concentración mínima abajo de la cual la propagación de flama no puede tener lugar, debido a que existe poco vapor en la mezcla que ha sido formado con el aire. Existe también una concentración máxima arriba de la cual la combustión no puede producirse, debido a que existe demasiado vapor que desplaza al oxígeno. Estos límites son conocidos como límite inferior de inflamabilidad (LFL) y límite superior de inflamabilidad (UFL) respectivamente, y la concentración entre estos dos límites es conocida como rango de inflamabilidad, en este rango las concentraciones vapor-aire, son adecuadas para iniciar y mantener un fuego.

Estos límites son siempre expresados como % del volumen del gas o vapor de aire. En términos generales, una mezcla que esta por debajo del límite inferior de inflamabilidad es demasiado débil para arder, mientras que una mezcla que esta por encima del límite superior de inflamabilidad se dice que es demasiado concentrada para arder.

Por ejemplo una mezcla de vapor de xileno en el aire con una concentración menor de 1.1% en volumen, es "muy débil" para arder (ya que generan pocos vapores), de manera similar una mezcla con más del 7% de xileno en el aire es "muy rica" en concentración de xileno para arder, por lo tanto decimos que el xileno posee un rango de inflamabilidad de 9.5 (diferencia entre el límite más bajo y el más alto). Los límites de inflamabilidad son generalmente determinados a 25°C, y 760 mm de Hg, y varían considerablemente con cambios de temperatura y presión. De manera general un aumento en la temperatura o en la presión, disminuye el LFL e incrementa el UFL, es decir amplía el rango de inflamabilidad. Una disminución en la temperatura o en la presión tiende a disminuir el rango de inflamabilidad.

Es muy común confundir un líquido inflamable con un líquido combustible, sin embargo, existe una clara diferencia entre ambos:

Un **Líquido Inflamable** es aquel que tiene un punto de inflamación de no más de 60°C.

Un **Líquido Combustible** es cualquiera que tenga un punto de inflamación mayor o igual a 60.5°C, y menor de 93.3°C, o bien cualquier material con un punto de inflamación de 93.3°C, o más y es transportado como un líquido a una temperatura igual o por encima de su punto de inflamación.

Es por ello que se maneja la siguiente clasificación de líquidos inflamables y combustibles:

Clase 1a.- Líquidos inflamables cuyo P.I. menor de 22.7°C y P. de eb. menor de 37°C (ej. n-Pentano)

Clase Ib.- Líquidos cuyo P.I. menor de 22.7°C y P. eb. mayor o igual de 37°C (ej. benceno, gasolina y acetona).

Clase Ic.- Líquidos inflamables cuyo P.I. es mayor o igual a 22.7°C., pero menor a 37°C.

Un líquido combustible es aquel que tiene un P.I. igual o mayor de 37°C. y se subdividen en 3 clases:

Clase II.- Líquido combustible cuyo P.I. es mayor o igual a 37°C., pero menor a 60°C.

Clase III A.- Líquido combustible cuyo P.I. es mayor o igual a 60°C., pero menor a 93°C.

Clase III B.- Líquido combustible cuyo P.I. es mayor o igual a 93°C.

Sólido inflamable.

Se trata de un grupo especial de materiales que son capaces de causar fuego por fricción o por calor y pueden ser encendidos fácilmente y arder con violencia de manera persistentemente para crear un serio peligro (ej. Fosforos de aluminio, magnesio, nitrocelulosa y titanio).

Los sólidos inflamables son de varios tipos:

- 1) Polvos finos (metales o sustancia orgánicas como celulosa, harina, etc.).
- 2) Los que se encienden espontáneamente a baja temperatura (fosforo blanco).
- 3) Aquellos en que el calor interno es desarrollado por actividad microbiana u otro tipo de degradación (comida de pescado, materiales celulósicos húmedos, etc.).
- 4) Películas, fibras y tejidos de materiales de bajo punto de ignición.

Disolventes.

El presente apartado incluye en su mayoría disolventes, aceites y compuestos orgánicos. Los disolventes son un grupo de gran importancia dada su demanda en casi todos los procesos químicos.

Podemos considerar la siguiente definición de disolvente:

- Aquel componente que en una mezcla homogénea se encuentra en exceso.
- Un líquido en el cual disuelve otra sustancia (solute), generalmente un sólido, sin ningún cambio en la composición química; como se disuelve el azúcar en el agua o una sal en agua.
- Un líquido el cual reacciona químicamente con un sólido y lo lleva a solución, como cuando un ácido disuelve un metal.

Usos.

- Modificadores de la viscosidad (diluyente).
- Plastificantes.
- Mezclas azeotrópicas.
- Reactivos de extracción.
- Disolventes para sólidos.
- Usos farmacéuticos.

La mayoría de los disolventes son inflamables, sin embargo, existen algunos disolventes que no lo son, entre ellos podemos mencionar los siguientes:

El tetracloruro de carbono, cloroformo, diclorometano, tetracloroetano, tetracloroetileno, cloruro de metileno, etc.

Sin embargo, este tipo de compuestos presentan una tendencia a disminuir su demanda en la industria, dada su alta toxicidad.

Disolventes más utilizados.

Tipo	Ejemplo
Hidrocarburos alifáticos	Hexano
Hidrocarburos aromáticos	Benceno
Hidrocarburos terpénicos	Aceite de turpentina
Hidrocarburos halogenados	Tricloroetileno
Alcoholes	Alcohol etílico
Aldehidos	Aldehído furfúrico
Acidos	Acido butírico
Esteres	Acetato de etilo
Glicoles y derivados del glicol	Glicol
Cetonas	Acetona
Eteres	Eter etílico
Acetales	Dimetil acetato
Compuestos nitrogenados	Etanolamina
Compuestos del azufre	Disulfuro de carbono
Acuosos	Amoniaco líquido
Gases licuados	Hierro fundido
Sales fundidas	Cianuros fundidos
Gaseosos	Nitrógeno

Identificación de materiales inflamables.

Uno de los problemas más peligrosos que puedan ocurrir cuando manejan materiales peligrosos inflamables, es aquel que se produce por la rápida formación de presión en recipientes cerrados de líquidos y gases cuando son calentados por una fuente externa. La explosión ocurre cuando la presión formada por la expansión del gas o vapor es elevada.

Es por ello que, tomando en consideración esta importante problemática, se buscó proporcionar un panorama general acerca de los materiales inflamables más comúnmente utilizados en la industria, para lo cual se llevó a cabo la recopilación de información de principalmente de cinco importantes organismos preocupados por suministrar una guía acerca de las principales características de los compuestos inflamables de mayor uso, ellos son:

- Department Of Transportation (DOT).
- National Institute For Occupational Safety and Health (NIOSH).
- National Fire Protection Agency (NFPA).
- Department Of Health Services (DHS).
- Tabla de materiales y residuos peligrosos; Ferrocarriles Nacionales de México (FNM).

Se identificó un total de 676 compuestos inflamables comúnmente utilizados en la industria; de esta forma se presenta una tabla con 290 materiales considerados peligrosos por su inflamabilidad, en la cual se enumeran ciertas propiedades físicas como son F. eb., P.I. y estado físico con la siguiente simbología:

- P. eb. - Punto de ebullición en °C.
- P.I. - Punto de inflamación en °C.

Método por el cual se determina el punto de inflamación:

(VA) .- Copa abierta.

(VC) .- Copa cerrada.

(VAT) .- Método abierto TAG.

(VCT) .- Método cerrado TAG.

Así mismo se mencionan las principales actividades en donde estos compuestos se utilizan con mayor frecuencia, como también ciertas consideraciones que deben tomar en cuenta al momento de su manejo. En este punto es importante destacar que algunos materiales líquidos contienen oxígeno y arden en ausencia de aire, otros son susceptibles de calentamiento espontáneo y otros pueden reaccionar violentamente con algunos materiales incluyendo agua. La mayoría de estos materiales reaccionan con compuestos oxidantes, ya que estos pueden proporcionar condiciones favorables para acelerar la inflamación de otros materiales incluso en ausencia de aire. Alguno de estos requieren calor para liberar oxígeno, otros emiten cantidades significativas de oxígeno a temperatura ambiente.

Finalmente se preparó una tabla anexa con 290 compuestos, mencionando únicamente el nombre y la fuente de información que la identifica como inflamable.

De esta manera se busca proporcionar un panorama general de las principales características de los materiales inflamables más comunes en la industria, con el fin de aportar una guía para contribuir el manejo adecuado de estas sustancias.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN CONTROL DE LOS RESIDUOS
GENERADOS EN HOSPITALES Y OTROS CENTROS DE
SALUD**

**MÓDULO II
IMPACTO Y RIESGO A LA SALUD Y AL AMBIENTE
RELACIONADOS CON EL MANEJO DE RESIDUOS
BIOLÓGICO-INFECCIOSOS**

TEMA:

**INTRODUCCIÓN A LA TEMÁTICA DE LOS RESIDUOS
BIOLÓGICO-INFECCIOSOS**

**CONFERENCISTA
DRA. SYLVIA VEGA GLEASON
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

RESIDUOS

RESIDUOS HOSPITALARIOS

1.- Definición.

¿Qué son los residuos?

Los residuos o desechos son todos aquellos materiales que aparentemente ya no tienen o tienen un valor de cambio disminuido (su valor en moneda es menor que su valor original) dentro de las operaciones comerciales normales. Estos residuos se producen en todas las actividades de la sociedad humana, actividades domésticas y de consumo, de servicio e industriales, agrícolas y ganaderas o cualquier otra.

2.- Clases de Residuos

Por su origen los residuos se dividen en dos grandes grupos:

Residuos municipales e industriales y entre estos dos extremos encontramos varias subclases de residuos:

Residuos de la ganadería y la agricultura, de la construcción y demolición de edificios, de la minería, los lodos de las plantas de tratamiento de las aguas municipales, los desechos hospitalarios, etcétera.

- Residuos Municipales

¿Qué son los residuos municipales?

Los residuos municipales son desechos generados en actividades domésticas principalmente y desechos de características similares que se producen en actividades de servicio tiendas, mercados, oficinas, en donde se mezclan materiales orgánicos biodegradables, papel, plástico, textiles, vidrio, metal, cenizas, cascajo, arena etcétera.

- Residuos Industriales

¿Qué son los residuos industriales?

Los residuos industriales están constituidos por la gran variedad de materiales de diferente composición que se producen durante las actividades industriales y que son característicos de la planta industrial de cada país.

Cuando el manejo y la eliminación de grandes cantidades de residuos no son los más adecuados para un país, entonces la presencia de los residuos constituyen un riesgo público ambiental.

3. Riesgo Público Ambiental

¿Qué son los riesgos públicos ambientales?

Los riesgos públicos son aquellos relacionados con el desarrollo de peligros para la salud y la seguridad de la población en general originados por cualquier actividad humana o por la falta de acciones de prevención ante un probable fenómeno catastrófico.

Cuando eventualmente se produce un riesgo público ocurren daños distribuidos masivamente entre toda la población, pero lo más mortificante para la población es la falta de comprensión del porqué se dio el acontecimiento y cuál hubiera podido ser el control individual del mismo, cuando en realidad estos factores, causa y control, se encuentran fuera de su intervención. Por lo tanto, es importante que la población comprenda que estos riesgos se controlan con la intervención del Estado o del gobierno en turno y no es posible el control individual.

Dentro de los riesgos públicos aquellos en donde se afecta directamente al medio ambiente son considerados riesgos públicos ambientales y se caracterizan por ser de dimensiones catastróficas con una probabilidad de ocurrencia baja pero con una tendencia a la elevación.

4.- Residuos Peligrosos y No Peligrosos

Los residuos se consideran peligrosos, no peligrosos e inertes, según sean los daños que puedan causar

- Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos son en primer lugar los que provienen de la industria, y su peligrosidad se determina de acuerdo a las siguientes características:

- Corrosividad. La corrosión es la destrucción lenta y paulatina de los materiales metálicos
- Reactividad. Un material es reactivo cuando en contacto con otros materiales es susceptible de reacciona rápidamente provocando cambios químicos.
- Explotividad. Son materiales explosivos aquellos que pueden explotar en condiciones de temperatura y presión cercanas a las normales o que se pueden alcanzar en operaciones comunes.
- Toxicidad. Es la capacidad de algunas sustancias para interaccionar con los organismos vivos provocándoles daños en su integridad o funcionamiento.
- Inflamabilidad. Es la capacidad de un material de prenderse rápidamente incendiándose y provocando la combustión de los materiales cercanos
- Biológico- Infectabilidad.. Esta característica se refiere a la capacidad de los microorganismos patógenos para causar infecciones en el humano.

Según la reglamentación de los residuos peligrosos en México, a las características nombradas anteriormente se les da el acrónimo de **CRETIB**: Corrosividad, Reactividad, Explotividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico-Infectabilidad.

Es comprensible que esta clasificación de peligrosidad se haya desarrollado en relación a los residuos industriales, ya que en los últimos años la industria química, la petrolera y la metal-mecánica han producido una gran cantidad y variedad de materiales de desecho cuyos efectos nocivos sobre el medio ambiente y el hombre apenas empiezan a conocerse.

Cuando se produce un accidente químico por el manejo inadecuado de un material peligroso (residuo o no) se provocan incendios, explosiones, además de descargas al ambiente de sustancias que pueden tener efectos tóxicos inmediatos (toxicidad aguda).

Si el accidente sobrepasa la capacidad de control del siniestro los efectos catastróficos son evidentes en las construcciones, medio ambiente y las población que se encontraba en la zona de exposición al peligro.

En respuesta a las graves consecuencias de los accidentes ambientales que han ocurrido en todo el mundo, se han diseñado mecanismos y controles para disminuir el riesgo del manejo de toda sustancia peligrosa, se encuentre ésta en forma de material, producto, residuo, o subproducto de las reacciones de una operación industrial.

Al desarrollarse la industria y la tecnología el hombre utiliza cada día una mayor cantidad de sustancias peligrosas; asimismo, las circunstancias de la producción, utilización o eliminación de los materiales y residuos son cada vez más complicadas. Dentro de estas actividades entre los trabajadores de las industrias de mayor riesgo se hizo evidente que además de las situaciones peligrosas de tipo accidental existían efectos nocivos sobre la salud que se presentaban a largo plazo, incluso tiempo después de que el trabajador ya no estaba en contacto con materiales industriales. A partir de los hechos referidos se demostró que la exposición continua a ciertos materiales, que se encontraban en concentraciones aparentemente inofensivas en el medio laboral, era la causa del desarrollo de intoxicaciones y enfermedades crónicas. El ejemplo más impactante de estos efectos es el cáncer ocupacional asociado a ciertos medios laborales.

Por otro lado, no se debe olvidar que también existen en los medios laborales materiales biológicos y circunstancias que propician el desarrollo de enfermedades infecciosas e inmunológicas en el ser humano.

- **Residuos No Peligrosos**

Ahora bien, en lo que respecta a los residuos no peligrosos son aquellos que en las cantidades en que se producen o se manejan no presentan alguna de las características **CRETIB** mencionadas, pero tampoco podemos considerarlos inertes ya que bajo ciertas condiciones en especial cuando su eliminación es inadecuada pueden constituirse en riesgos públicos ambientales, por ejemplo en los grandes tiraderos municipales a cielo abierto se puede encontrar material biológico infeccioso que en condiciones adecuadas de temperatura, humedad etcétera pueden convertirse en un foco de infección, o por otro lado la presencia de grandes cantidades de ciertos materiales metálicos, pinturas, pilas, plásticos por efecto de la temperatura, humedad, etcétera pueden formar lixiviados que a largo plazo contaminan mantos freáticos, fuentes de abastecimiento de agua potable

- **Residuos Inertes**

Por lo tanto un residuo inerte es aquel que por sus características, independientemente de la cantidad en que se deseche no interacciona física, química o biológicamente en los medios ambientales, no persiste en el ambiente; tampoco se incorpora o acumula en los tejidos de organismos vivos ni interfiere con procesos biológicos.

5.- Efectos de los Residuos sobre la Salud.

Podemos considerar que los principales componentes de los residuos que conciernen a la salud pública por su capacidad para provocar un efecto nocivo sobre el organismo humano, pertenecen a dos grandes categorías: los biológico-infecciosos y las sustancias tóxicas.

- **Biológico-infecciosos**

Los microorganismos patógenos son las bacteria, virus, protozoarios, helmintos y hongos que se encuentran o pueden desarrollarse en los residuos; siempre y cuando estos patógenos se

encuentren en forma viable, es decir que potencialmente puedan causar una infección a los seres humanos expuestos directamente a ellos por las vías adecuadas, o bien que puedan infectar a algún tipo de animal que sirva de transmisor para infectar posteriormente al hombre.

También se consideran a los tejidos de organismos vivos separados de su medio original: sangre, suero, tejidos extirpados en operaciones, etcétera como medios de cultivo para el desarrollo de microorganismos.

- Tóxicos

Por otro lado la categoría de los tóxicos incluye a todas las sustancias o mezclas de las mismas que induzcan algún efecto nocivo en el organismo como puede ser :

El daño inmediato que se produce al entrar en contacto una sustancia tóxica con el ser humano; es decir un efecto tóxico agudo.

El daño que se manifiesta después de un lapso mayor al tiempo de contacto entre el humano y la sustancia tóxica es un efecto tóxico crónico.

La mutagenicidad, es decir la capacidad de ciertas sustancias o factores físicos que al interaccionar con los organismos vivos provocan alteraciones en su información genética; al cambio en la información genética se le denomina mutación y se puede manifestar en los descendientes del afectado como alteraciones anatómicas o funcionales.

La carcinogenicidad o capacidad de una sustancia o agente físico de provocar cáncer;

La teratogenicidad, actividad tanto de sustancias como de factores físicos que afecta el desarrollo normal de un embrión o feto durante su vida intrauterina;

La producción de daños reproductivos, esta característica se manifiesta en los efectos de los agentes químicos y físicos, sobre las células y los órganos reproductivos de los animales que les provocan problemas en su reproducción o en sus descendientes, y por último

La capacidad denominada disrupción hormonal que se refiere a la característica de ciertas sustancias que por su estructura similar a la de algunos factores hormonales impiden las respuestas hormonales normales, provocando daños reproductivos que en algunos animales silvestres tienen como última manifestación la extinción de la especie. No se tiene información actual sobre este tipo de efectos en los humanos, pero algunos autores suponen que a largo plazo se presentarán

- Otras Características de los Materiales y Residuos Peligrosos.

Ahora bien, la peligrosidad de un material no solo es función de las características de peligrosidad a las que nos hemos estado refiriendo sino también depende de:

Su persistencia en el ambiente, que tanto estos materiales se degradan cuando se encuentran en el medio natural, es decir persisten como tales en el medio ambiente o se desintegran y desaparecen en un tiempo razonable para el humano, días a semanas.

Su **bioacumulación**, las sustancias que se liberan al medio ambiente interactúan o no con el ambiente y de ser así, tienen capacidad para acumularse en los tejidos de las plantas y animales que se encuentran en un ecosistema, es decir si se bioacumulan o se bioconcentran, ya que de presentarse estas características la peligrosidad ambiental del residuo aumenta considerablemente.

5.4 Otros factores relacionados con los residuos que pueden afectar la salud pública.

Existen también otras sustancias y elementos que naturalmente se encuentran en el medio ambiente así como en productos y residuos (nitratos, sodio, cloro, potasio etcétera) que no son considerados como tóxicos.

Si estas sustancias no tóxicas se encuentran en grandes concentraciones por ejemplo en unos residuos a los que no se les ha considerado peligrosos de acuerdo a la normatividad vigente y se depositan sin ninguna precaución sobre los suelos, posteriormente por efecto de la lluvias las sustancias antes mencionadas pueden lixiviarse desde los residuos hacia el suelo y cuerpos de agua subterránea o superficial que pueden ser fuentes de abastecimiento de agua potable, por lo que el filtrado de un residuo puede aparecer en el agua de bebida y alcanzar en ésta concentraciones por arriba de las concentraciones permitidas que pueden afectar la salud de la población.

Por ejemplo el caso de los nitratos que se encuentran en los residuos agrícolas y que pueden llegar a contaminar mantos freáticos en donde por las condiciones anaeróbicas se reducen a nitritos que al ser ingeridos a través de la ingestión de agua potable afectan a la población

Para referirnos a otros efectos sobre la salud pública cabe la pena recordar los casos que se han presentado por incendios de basureros municipales en donde un riesgo para la salud ha sido la exposición, de la población aledaña al basurero, a los componentes de los gases y partículas que se producen, por tiempos prolongados, cuando estos accidentes no son controlados oportunamente.

6.-Componentes Patógeno-Infeciosos

Entre los componentes patógenos que eventualmente se pueden encontrar en diferentes tipos de residuos municipales, residuos hospitalarios y lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales tenemos:

Bacterias: Salmonella, Shigella, Vibrio cólera, Escherichia coli patógena; Estreptococos, Estafilococos, Neumococos; Bacilo tuberculoso;

Virus: Enterovirus, Adenovirus, Virus de la Hepatitis, Rotavirus;

Protozoarios: Entamoeba, Giardia;

Helmintos: Ascaris, Trichuris, Taenia, Hymenolepis; y

Hongos: Cándida, Criptococcus, Aspergillus. Algunas de estas especies de hongos pueden ser patógenos oportunistas, pero en particular su peligrosidad estriba en su capacidad para actuar como alérgenos (provocan reacciones alérgicas) y por las exotoxinas que algunos producen.

En general los microorganismos nombrados anteriormente causan enfermedades gastrointestinales, con diarrea, vómitos, pérdida de peso como serían el cólera, la disentería, la tifoidea la salmonelosis, además pueden dañar a órganos internos como por ejemplo las amebas

que producen amibiasis, la hepatitis por virus etcétera. Otros de los nombrados provocan enfermedades respiratorias como por ejemplo la tuberculosis. También se recuerda que los aquí mencionados como helmintos son los llamados comúnmente "lombrices" que afectan a todos los órganos del cuerpo.

Es importante recordar que los microorganismos patógenos a los que hemos hecho referencia viven y se multiplican principalmente en el cuerpo de los humanos y de los animales de sangre caliente, por lo tanto es difícil que crezcan y se multipliquen fuera de ese ambiente propicio; en el ambiente general fuera de un organismo vivo los microorganismos patógenos mueren a una velocidad que depende de varios factores:

- Si en el medio ambiente existe agua, la humedad y la capacidad de retención de agua del medio favorece la sobrevivencia de los microorganismos

- La mayoría de los microorganismos en el medio ambiente adoptan formas de vida, quistes y esporas, que sobreviven a bajas temperaturas por tiempo indefinido.

- En general los tiempos de sobrevivencia de los microorganismos son mayores en un medio neutro o alcalino y menores en condiciones de acidez.

- En la presencia de basura orgánica se tiene la disponibilidad de contar con nutrientes adecuados y la capacidad de retener humedad para que los microorganismos sobrevivan.

- En medios como el referido en el párrafo anterior la presencia de otros microorganismos antagonistas disminuye la sobrevivencia de los patógenos.

La probabilidad de contaminar con patógenos el agua subterránea a través de escurrimientos de los tiraderos de residuos municipales, de residuos hospitalarios o por la aplicación en tierras de cultivo de lodos de agua residual municipal en general es baja ya que los microorganismos se retienen en las partículas de tierra y se concentran cerca de la superficie (50 cm), pero dependiendo de las características de permeabilidad de los suelos estos organismos pueden migrar a mayores profundidades.

Con respecto al riesgo del humano de infectarse por exposición a un medio contaminado con microorganismos patógenos, éste dependerá en primer lugar de la cantidad, es decir del número, de organismos virulentos que ingresan al organismo y de la respuesta del huésped ante la agresión de los patógenos.

Los mecanismos de defensa naturales actúan inmediatamente al entrar un microorganismo al cuerpo, antes de que se presente la infección o de que se desarrolle una enfermedad. La capacidad de los patógenos para vencer los mecanismos de defensa depende de su capacidad invasiva y de su virulencia la cual es muy variada para cada especie y cepa de que se trate.

Cabe hacer notar que la dosis de infectividad de las bacterias se encuentra en un rango de exposición de 100 (10^2) a 100 millones (10^9) de células, en tanto que para los virus, los quistes de protozoarios y los huevecillos de helmintos la dosis de infectividad es decir la cantidad de estos microorganismos que deben ingresar al organismo para provocar una infección es solo del orden de uno a 10.

De acuerdo al análisis presentado anteriormente concluimos que existe el riesgo de exposición a agentes infecciosos por la disposición inadecuada de ciertos residuos; sin embargo, los informes que indiquen una relación directa entre la disposición inadecuada de los residuos municipales y hospitalarios y el desarrollo de enfermedades infecciosas no son frecuentes. No obstante lo anterior, existen un mayor número de informes sobre casos aislados que relacionan la utilización

de lodos de aguas residuales municipales en la agricultura y la presencia de infecciones en la población expuesta a estos residuos.

7.- Componentes Tóxicos.

En el país el control de los residuos o desechos industriales que son considerados como peligrosos aparecen en los listados que forman parte de la norma llamada de "Las características y clasificación de los residuos peligrosos, NOM-052-ECOL-1993". En estas listas se encuentran los residuos que provienen de una industria en su conjunto o de ciertos procesos que se llevan a cabo en diferentes industrias en donde previamente ya se han identificado sustancias y mezclas de éstas con las características de peligrosidad ya especificadas: toxicidad, corrosividad etcétera (ver páginas anteriores sobre la clasificación).

También en las listas aparecen los productos químicos comerciales que se desechan y los contenedores o envases de productos químicos que tienen características peligrosas: estas listas, en nuestro país y en la mayoría de los países en desarrollo son copias de las listas elaboradas por las autoridades ambientales de los EUA.

Cuando un residuo industrial no esté identificado en alguna de las listas, para determinar si es o no peligroso se probarán sus características de peligrosidad, (características CRETIB), según los métodos aprobados en la norma correspondiente.

Por lo que respecta a la toxicidad, ésta se determina con base en si alguna o varias de las sustancias que aparecen en el listado correspondiente pueden ser extraídas del residuo, y en la concentración de las mismas.

El extracto obtenido (según el método descrito en la norma) se considera equivalente a un filtrado constante del residuo hacia el medio ambiente o lixiviado en el cual se encontrarían las sustancias tóxicas consideradas en el listado.

Se mide la concentración del tóxico en el extracto y se compara ésta con la concentración del límite permitido por la norma, de acuerdo a los resultados se clasifica al residuo como peligroso o no por la presencia y cantidad de sustancias tóxicas que se supone con el tiempo y por las condiciones ambientales en las que se encuentre el residuo se pueden lixiviar del residuo y transportarse hacia los suelos y el agua ambiental.

- ¿Qué son los tóxicos o sustancias tóxicas?

Los tóxicos son sustancias que producen un efecto dañino en el funcionamiento normal de un organismo vivo o bien dañan el aspecto del mismo, de tal manera que su forma se modifica y su funcionamiento se vuelve anormal

Si la gravedad del efecto es tal que se sobrepasan los mecanismos naturales de protección se obtiene como resultado un cambio anormal evidente.

Las sustancias tóxicas consideradas en los listados de sustancias peligrosas, listados de sustancias tóxicas, listados de materiales y residuos peligrosos y en listados de sustancias que se utilizan en actividades de alto riesgo son aquellas que producen principalmente efectos nocivos agudos, crónicos, mutagénicos, carcinogénicos o teratogénicos; son además de alta persistencia en el ambiente, baja degradabilidad y con capacidad de acumularse en plantas y animales que forman parte de la dieta de otros animales incluido el hombre.

Por otro lado, el peligro potencial de los residuos estriba en que al no ser eliminados adecuadamente, por ejemplo los residuos peligrosos colocados o enterrados en los suelos sin ningún tratamiento previo o colocados en tiraderos municipales, por efecto de la reactividad

propia de los residuos y por la infiltración acuosa natural en el medio ambiente se propicia la formación de filtrados que migran a través de los suelos y llegan a alcanzar los lechos acuíferos tanto superficiales como subterráneos provocando la contaminación de sus aguas.

Es a través de los suelos y el agua contaminados que las plantas, los animales y el hombre se exponen preferentemente a las sustancias tóxicas de los residuos peligrosos. La excepción se considera la incineración de ciertos residuos que producen sustancias tóxicas que se dispersan en el aire pero que finalmente se precipitan hacia los suelos.

8.- El Riesgo Sanitario-Ambiental de los Residuos Peligrosos.

Desde el punto de vista de la salud pública el riesgo de los residuos peligrosos se funda en la relación que se puede establecer entre las concentraciones de los compuestos tóxicos e infecciosos que se detectan en el suelo, agua y aire en las inmediaciones donde se producen o encuentran los residuos y la presencia de daños en la salud o enfermedades en las poblaciones que viven en las cercanías del área contaminada por residuos.

Con base en lo anterior es primordial identificar y evaluar las vías de exposición de la población a los contaminantes provenientes de los residuos, para ello es importante encontrar la vía de exposición por la cual el contaminante nocivo llega al hombre :

- **¿Cuál es la fuente de contaminación?** - En este caso la presencia de residuos peligrosos o de subproductos formados durante su tratamiento.

- **¿Cuál es el medio ambiental en donde se transportan los contaminantes que provienen de los residuos?**, por ejemplo: el agua subterránea, el agua superficial, el aire, el suelo, otros organismos vivos; y los mecanismos de transporte que permiten la migración de los contaminantes de la fuente que los contiene o produce hasta el receptor en donde se van a observar sus efectos.

- **¿Cuál es el punto de exposición en donde se da la interacción entre el humano y el medio contaminado?** - El punto de interacción será por ejemplo: la presencia de un pozo contaminado, un suelo contaminado en una zona poblada, el viento que va de una zona terrosa contaminada hacia una zona poblada, y los alimentos: vegetales, hortalizas, cereales, pescados, ganado, etcétera que crecieron en un suelo o en aguas contaminadas o se regaron con aguas contaminadas.

¿Cuáles son las rutas de exposición? - Por otro lado se identifican las rutas de exposición en el humano que aseguran el paso del contaminante al cuerpo como: la ingestión, inhalación y absorción a través de la piel y la biodisponibilidad o facilidad con la que el contaminante puede ser absorbido e integrado al cuerpo humano.

¿Quién es el receptor? - Por último es necesario definir la población humana receptora, es decir la población que habita dentro de una zona delimitada por su acceso a los contaminantes considerados.

Además de los elementos enumerados anteriormente es primordial tomar en cuenta el lapso de tiempo en el cual se puede dar la exposición; cuál es la duración de la exposición, es decir durante cuanto tiempo la población está, estará o ha estado expuesta a los contaminantes y la frecuencia de esta exposición, cuantas horas del día el individuo está expuesto por día y el número de días o de semanas al año etcétera, se considera asimismo si existen fluctuaciones en la exposición: o si la exposición es continua o intermitente.

Una vez que se cuenta con los elementos para asegurar que existe una exposición de la población a los contaminantes provenientes de un residuo peligroso el siguiente paso es determinar la cantidad real del contaminante que puede pasar al cuerpo de un individuo representante del promedio de la población que ha estado expuesta.

9.- El Riesgo Público Ambiental de los Confinamientos No Controlados de Residuos Peligrosos.

En los años 80 los Estados Unidos de América reconocieron que en su territorio existían alrededor de 130.349 sitios contaminados con residuos peligrosos de los cuales a 2.000 se les consideraba como prioritarios para llevar en ellos acciones de limpieza y remoción de tierra contaminada, lo cual representaba un costo de 100 billones de dólares y un periodo de operaciones de alrededor de 50 años para limpiar esos sitios. Se calcula que de los años 50 a los 80 en ese país se acumularon 6 billones de toneladas de residuos industriales y que la disposición inadecuada de los considerados peligrosos provocó el que más del 25% de sus acuíferos se contaminara con tóxicos provenientes de los lixiviados de los residuos.

9.1.- Estudios Sanitario - Ambientales

Un estudio de investigación sanitaria-ambiental para determinar una relación entre un sitio en donde se encuentran residuos peligrosos y la presencia de efectos sobre la salud de la población se basa en los siguientes criterios:

- Contar con evidencias de que la población está o ha estado expuesta a contaminantes provenientes de los residuos.
- Contar con informes médicos sobre enfermedades o síntomas y signos específicos que se han presentado en la población, en donde además se pueda verificar la relación temporal y espacial de estos casos con la fuente de contaminación.
- Probar que biológicamente es plausible el que las enfermedades que se han desarrollado estén asociadas a la presencia de los contaminantes provenientes de los residuos.

Si los resultados de la evaluación sanitaria-ambiental son positivos se toman medidas de emergencia para controlar la exposición a los residuos y se llevan a cabo los estudios epidemiológicos pertinentes para determinar la probabilidad de la relación causa /efecto propuesta.

En los Estados Unidos de Norte América, EUA, principalmente, se conocen varios casos en donde se relaciona la presencia de sustancias carcinogénicas, provenientes de residuos peligrosos, en el agua potable y un aumento en el número de cánceres específicos entre la población expuesta.

Por otro lado, previo a los estudios descritos anteriormente, se puede determinar si la disposición de un residuo representa un peligro para la salud pública o un riesgo ambiental con base en:

- las características del residuo peligroso,
- los métodos que se pretenden seguir para su disposición final, y

- las características geológicas, climáticas, urbanas, etcétera del sitio donde se llevará a cabo dicha disposición

Por todo lo anterior es evidente que establecer la magnitud de los riesgos inherentes al manejo y disposición inadecuados de los residuos peligrosos en casos puntuales requiere de toda una infraestructura administrativa, ambiental, médica y geológica muy costosa, que técnica y económicamente es difícil de contar con ella en los países en desarrollo.

En consecuencia de lo anterior para proteger efectivamente a la población ante este tipo de riesgos es necesario contar con una legislación y regulación estrictas apegadas a la realidad de cada país, que impidan el que se dé la posibilidad de exposición a los materiales tóxicos e infecciosos presentes en los residuos peligrosos.

10.- Estudios Epidemiológicos

"La epidemiología es la disciplina médica que estudia la frecuencia con que se presentan las enfermedades o sus efectos en las poblaciones humanas. Consiste en la medición de la frecuencia de las enfermedades y en el análisis de sus relaciones con diversas características de los individuos o de su medio ambiente"(A. Ahlbom y S. Norell).

Existen dos tipos principales de estudios epidemiológicos:

a) Estudios de casos y controles

En el estudio de casos y controles primero se reconoce la presencia de una enfermedad o un efecto adverso a la salud en varios miembros de un grupo de la población a los que se les da el nombre de "casos" (casos de una enfermedad o de uno o varios síntomas), este hecho es la evidencia de un daño a partir de la cual se analizan las posibles causas que originaron este efecto.

Los controles son un grupo de la población escogido ex-profeso con individuos similares en edad, sexo, características de sus viviendas, región geográfica, etcétera al grupo de los casos, es decir son lo más parecido a la población del grupo de casos con la excepción de que no presentan la enfermedad o los síntomas y signos que se presentan en los casos.

En el área ambiental los estudios de casos y controles tratan de responder a la pregunta: ¿ Es la exposición ambiental a la cual está sujeta la población de los casos diferente de la exposición a la cual están expuestos los controles?.

Estos estudios prácticamente dependen de la habilidad del investigador para delimitar las condiciones de exposición.

¿Cómo se delimita la exposición?

A través de la información que se encuentra en registros médicos, encuestas, censos o bien se utiliza un cuestionario diseñado exclusivamente para obtener información sobre la exposición a riesgos ambientales, por último se puede recurrir a la realización de mediciones en el ambiente directamente o utilizar información de monitoreos anteriores.

Es importante hacer notar que en estos estudios la exposición actual no es la determinante de la respuesta observada sino la exposición pasada que puede ser la causa del efecto actual.

La perspectiva de los estudios de casos y controles es retrospectiva a partir de la identificación de los sujetos afectados actualmente o que puedan manifestar una afección en los próximos años, se trata de definir la magnitud de la exposición a un factor causal en el pasado.

Estos estudios aparentemente fáciles en la práctica son muy complicados ya que se presentan numerosos sesgos y errores a partir del hecho de que los estudios se planean de manera muy laxa, se aplican una gran variedad de conceptos y mediciones según el criterio de los investigadores, por ejemplo no existe una regla para la selección de los casos ni para la selección de los controles, los datos sobre la exposición al factor causal se obtienen en general de la manera más arbitraria y hasta existen estudios publicados en donde la hipótesis causa/efecto se establece después del análisis de los resultados.

En estos estudios la primera dificultad se presenta al escoger el grado de certeza con el que se identifica a la muestra representativa de la población de los afectados (los casos), por lo general los casos son los enfermos hospitalizados o los muertos por esa enfermedad, lo cual delimita y selecciona a esa población en especial, por lo tanto es inadecuado que los resultados de estos estudios se consideren determinantes de un riesgo para la población en general, en realidad solo indican la presencia probable de un peligro

Hipotéticamente o en situaciones excepcionales se puede examinar un grupo expuesto completo y evaluar en él a todos los afectados para calcular con toda certeza el riesgo relativo que indica la probabilidad de que en esa población se presente la enfermedad estudiada por una causa determinada. Este tipo de estudios se han llevado a cabo en Suecia en donde existen registros completos y fidedignos de la historia clínica, de los sitios de residencia, de las ocupaciones etcétera de toda la población.

Representación esquemática de los estudios de casos y controles

	CASOS	CONTROLES	TOTAL
EXPUESTOS	a	b	a + b
NO EXPUESTOS	c	d	c + d
TOTAL	a + c	b + d	a+b+c+d

En la situación especial, a la cual nos habíamos referido en el párrafo anterior, en donde se pueda medir la frecuencia con que se presenta una enfermedad (incidencia) en toda la población expuesta y la incidencia de la enfermedad en toda la población no expuesta, se puede calcular el riesgo relativo, RR, que no es otra cosa que la relación de los casos que se presentan en la población expuesta al factor causal entre los casos que se encontraron en la población no expuesta al factor mencionado.

$$RR = (a/a + b) / (c/c + d)$$

La situación más común que se observa en estos estudios de casos y controles es la de una frecuencia de enfermedad dependiente artificialmente de la cantidad de controles que de una manera arbitraria se incluyen en el estudio, para evitar esta situación se utiliza una medida aproximada del riesgo relativo que se denomina la razón de disparidades (OR por sus siglas en inglés, **Odd Ratio**) en donde se encuentra la razón de los casos entre los controles (a/b) de la población de los expuestos y la razón de los casos entre los controles de la población de los no expuestos (c/d), ver la tabla de la página anterior, y posteriormente se encuentra la relación entre estas dos razones, es decir:

$$OR = (a/b) / (c/d)$$

Por las características de los estudios de casos y controles (analizadas en los párrafos anteriores) la precisión en estos estudios aumenta al aumentar el número de controles, un número de controles de 4 a 5 veces el número de los casos da una precisión cercana al 80 % de la precisión máxima esperada, es también aparente que los resultados de los estudios de casos y controles tienen valor para la determinación de un peligro cuando la exposición potencial al agente causal se encuentra distribuida entre el 50 y el 70% de la población estudiada y la enfermedad o efecto adverso estudiado es poco frecuente. Es importante enfatizar que el método descrito es eficiente y flexible en diferentes situaciones, pero está diseñado especialmente para el análisis de enfermedades poco frecuentes.

b) Estudios de cohortes

Los estudios de cohortes se dividen en prospectivos y retrospectivos. En los estudios de cohortes prospectivos primero se identifica a un grupo poblacional expuesto a un determinado factor causal de una enfermedad o síntomas, y en este grupo se va a observar si se desarrolla la enfermedad o si aumenta la tasa de mortandad provocada por esa enfermedad, durante un período de tiempo fijado al inicio del estudio; vale la pena aclarar que en la metodología no se especifica el tiempo ideal del seguimiento de una cohorte por lo tanto el que diseña el estudio debe ser muy cuidadoso y conocer aproximadamente el tiempo de desarrollo de la enfermedad estudiada sino es así entonces es posible que estos períodos puedan ser o muy cortos o demasiado largos.

También en estos estudios, como en el descrito en el inciso a), al inicio se escoge una población control cuya diferencia principal con la llamada cohorte es que no está expuesta al que se considera el agente causal y además es representativa de la media de la población en general o de un sector particular de la misma.

La mortandad o morbilidad de la enfermedad estudiada en la población control se considera como el valor estándar o el valor esperado.

En las cohortes retrospectivas el estudio se inicia con un grupo de personas enfermas o con ciertos síntomas y signos y se sigue una investigación sobre los años anteriores al inicio del estudio para determinar la posible exposición de los individuos a un factor causal.

Los individuos de la cohorte pueden tener diferentes períodos de exposición, con el único requisito de registrar el año de entrada y de salida de cada individuo que conforma la cohorte, por lo tanto al tomar a la cohorte como un todo, para obtener las mediciones más precisas entre la exposición y la respuesta se consideran los años - persona en riesgo de desarrollar la enfermedad.

Tanto en los estudios prospectivos como en los retrospectivos en donde por períodos prolongados se evalúa la incidencia de una enfermedad en una población, al no estar definido el período de latencia entre la exposición a un agente causal y la presencia del efecto observado o de la enfermedad se limita la capacidad de estos métodos para señalar con precisión la presencia del verdadero peligro.

En los estudios de cohortes se compara la incidencia de un efecto o enfermedad observada en la cohorte con la incidencia esperada en el grupo control, la fórmula más sencilla de esta medición es la razón de la morbilidad o de la mortalidad estandarizada, (SMR por sus siglas en inglés, Standardized Mortality Ratio).-

$$\text{SMR} = \frac{\text{muertes o enfermedades observadas}}{\text{muertes o enfermedades esperadas}}$$

Significancia estadística.

El criterio de significancia de los resultados en los estudios epidemiológicos se refiere a la significancia estadística que evalúa la probabilidad de si el cambio observado ocurrió o no al azar, o bien que probabilidad existe de que el evento medido dependa o no de la exposición a un factor causal.

La capacidad de las pruebas estadísticas para detectar el aumento significativo de una enfermedad en la población, está delimitada por el tamaño y la incidencia "normal" de esa enfermedad en la población estudiada, por ejemplo si en la población de un país de varios millones habitantes la media de la incidencia normal de cánceres es del 20 % anual, es decir que en diferentes regiones de ese país se encuentra una incidencia que se encuentra entre los límites del 12 al 28%, a todo este rango se le considera normal con una desviación del $\pm 8\%$, que representa el 40% de la media (20); solo si esta incidencia aumenta a 29% o más entonces existe la probabilidad de que este aumento no se deba al azar; pero si la población es pequeña el incremento en la incidencia para ser significativo tendría que ser mayor al 45% del 20% esperado en tanto que si la población es lo suficientemente grande entonces la significancia se presenta cuando el incremento en la incidencia se da a partir del 5% o más del 20% esperado.

Por otro lado si se trata de un cáncer muy raro es decir poco frecuente entonces hasta un solo caso puede ser la evidencia para sospechar la presencia de un factor causal específico y dos casos ya son suficientes para elevar la probabilidad de que ese resultado no se deba al azar.

Las pruebas de significancia estadística no prueban el que exista una relación causa / efecto. Si la prueba indica una probabilidad menor al 1% de que el resultado obtenido se deba al azar esto no significa que la probabilidad de que el efecto tenga una asociación causal sea del 99%, como generalmente se infiere. Un resultado no significativo estadísticamente solo indica que la variación encontrada en el estudio bajo las condiciones de su diseño se debieron al azar.

11.-La disposición de los residuos hospitalarios

Los residuos hospitalarios se desechan en confinamientos especiales para residuos peligrosos o bien se incineran.

En todos los pueblos ha sido una práctica ancestral el utilizar el fuego para destruir los materiales que se considera ya no sirven.

En la Edad Media ante la necesidad común de la población para deshacerse de sus desechos se construyó un quemador de basura rodante. El quemador consistía en un carretón tirado por caballos en cuyo interior se encontraba una cámara de madera recubierta de arcilla y dentro de esta cámara se prendía y mantenía encendida una hoguera; el carretón recorría las calles de la ciudad y los habitantes arrojaban su basura a la hoguera móvil.

La incineración sistemática de los desechos municipales se inició hace aproximadamente 100 años en Inglaterra, en donde se construyó expresamente un horno para quemar la basura de la ciudad. A partir de entonces se ha desarrollado la tecnología de la termodestrucción, la cual en la actualidad cuenta con tecnologías de punta de altos costos, a las que no es fácil acceder en los países en desarrollo.

En los años 50 cuando empezó el movimiento tendiente a controlar las emisiones de gases y humos de las chimeneas hacia la atmósfera, se inició también el perfeccionamiento de los sistemas de incineración. Fue necesario controlar las temperaturas de combustión según los tipos de materiales incinerados; se demostró que el contar con varias cámaras de combustión conectadas entre sí, aseguraba la destrucción total de los materiales incinerados. Por otro lado se

diseñaron aditamentos para recuperar la energía generada durante la combustión y se integraron equipos de control de las emisiones contaminadoras del aire.

También en los años 50 comenzó el empleo de incineradores especiales para destruir los residuos industriales, y es en este campo donde se han hecho más innovaciones tecnológicas tendientes a obtener una mayor eficiencia.

Por lo que respecta a **los desechos hospitalarios**, desde los inicios de la medicina hospitalaria la incineración ha sido empleada para destruir materiales biológicos y patológicos, así como toda clase de instrumental contaminado para evitar la posible diseminación de enfermedades infecciosas. La tecnología de incineración de residuos hospitalarios se ha desarrollado hasta la fabricación de incineradores específicos para las características tan heterogéneas de este tipo de residuos.

12. Descripción de un incinerador

En los incineradores se cuenta con una área de recepción de los residuos y de preparación de la forma en que se van a introducir a las cámaras de combustión, es decir de la forma en como se va a "alimentar" a las cámaras del incinerador.

El objetivo de un incinerador comercial es proporcionar una eficiencia de combustión muy alta, para lo cual es necesario mantener constante por un periodo determinado la temperatura de combustión adecuada para los materiales que se están incinerando. Existen diferentes diseños de incineradores, los cuales varían de acuerdo al tipo de residuos, por ejemplo los incineradores de rejilla en donde se colocan envases rígidos o residuos sólidos como sería el caso de los incineradores de residuos municipales y los de residuos hospitalarios.

Por otro lado, la experiencia ha demostrado que para lograr una combustión completa es necesario contar al menos con dos cámaras de combustión, estas cámaras de combustión se diseñan del tamaño y características especiales para permitir que en su interior se alcancen las temperaturas requeridas. las cámaras están equipadas con entradas de gas y aire conectadas a varios quemadores, también, las cámaras están perfectamente aisladas del exterior y están construidas con materiales de gran resistencia térmica.

Durante la combustión eficiente del material orgánico se produce agua y monóxido de carbono, el material inorgánico que no se destruye durante la combustión forma cenizas y partículas de diferentes tamaños.

La mayor cantidad de cenizas producidas, por su propio peso, se precipitan en el piso de las cámaras de combustión, los incineradores se construyen de tal manera que se puedan colectar estas cenizas para su posterior disposición final; las cenizas de menor peso que no se precipitan son emitidas en compañía de los gases de combustión, las cenizas muy ligeras que no precipitan forman el "fly ash", que en español serían las cenizas en suspensión.

A la salida de la última cámara de combustión los gases y partículas alcanzan temperaturas muy altas y es en este punto donde el calor generado puede utilizarse para generar vapor, calentar agua o hasta para generar electricidad; independientemente de la utilización de esta energía los productos de la combustión pasan por un sistema de enfriamiento, o un sistema de amortiguamiento del calor "quencher", en inglés. También es necesario disminuir la acidez de los gases por lo que generalmente las emisiones, antes de ser emitidas al exterior, pasan a través de una solución alcalina; posteriormente a este punto los incineradores cuentan con un sistema de control de la emisión de partículas hacia el aire; estos sistemas precipitan por medio de un

precipitador electrostático las partículas o bien las emisiones pasan a través de filtros de malla muy fina que retienen a las partículas suspendidas en los gases.

Las partículas y las cenizas de las emisiones se descargan junto con las cenizas y subresiduos de la incineración, y se disponen en rellenos sanitarios o confinamientos de residuos peligrosos según sea el caso, o pasan al sistema de aguas residuales de la instalación.

13. Utilización de la Incineración. Ventajas y desventajas

Los residuos que más frecuentemente son incinerados son los siguientes:

- Los residuos industriales sólidos peligrosos.
- Los residuos hospitalarios,
- Los residuos sólidos municipales, y
- Ciertos residuos peligrosos líquidos que son utilizados como combustibles en algunas industrias sobre todo en la industria cementera.

La mayor parte de los residuos peligrosos que son incinerados son solventes no halogenados usados, residuos corrosivos y reactivos que contienen sustancias orgánicas de difícil destrucción; los antes señalados corresponden al 44% de los residuos totales incinerados. Otros residuos que son incinerados son: los cianuros, subproductos de acrilonitrilo, y otros productos tóxicos.

Los residuos que se pueden incinerar se especifican en 60 diferentes códigos de clasificación, los que se mencionan con más frecuencia son:

Los residuos que no se inflaman: acrílicos, acetato de etilo, acrilatos de etilo, acroleína, que son aproximadamente el 71% de los residuos incinerables, 44% de estos residuos contienen metales y 37% contienen cloro

La incineración de los residuos peligrosos se ha utilizado desde hace 50 años, sin embargo la regulación de las emisiones de todo tipo de residuo se inicia con el control de los incineradores de los residuos municipales en los años 70. En estos casos se empieza por el control de la emisión de partículas y se fija para una carga diaria de incineración mayor a las 50 toneladas un límite de 180 mg/ dscm, miligramos de partículas por metro cúbico de aire emitido (dscm siglas de dry standard cubic meter que en español significa metro cúbico seco estándar) corregido para un ambiente con un 12 % de CO₂. En 1991 aparecen nuevas regulaciones para incineradores con capacidad de incineración mayor a 225 tons por día, con el conocimiento además de que los metales se encuentran adheridos a las partículas; se establecen límites más bajos que los anteriores para la emisión de partículas y además se decretan límites de emisión para los óxidos de nitrógeno NO_x, el ácido clorhídrico, los compuestos orgánicos y la opacidad de las emisiones.

Como ya se mencionó, todos los metales que se encuentran en el material que se incinera son emitidos en forma particulada o bien forman parte de las cenizas resultantes de la combustión. El cálculo de la emisión de cada metal se hace en función de: su contenido en los residuos que se van a incinerar, la tasa de alimentación de este material en el incinerador, y la altura de la chimenea y su relación al perímetro de impacto de sus emisiones. Para determinar el riesgo de estas emisiones con los datos anteriores se construyen diversos escenarios incluido el peor caso posible.

Además se cuenta con datos de las pruebas de emisión realizadas con el objetivo de determinar que porcentaje de la cantidad de metales alimentados en el incinerador aparece en las emisiones y el porcentaje de estos metales que se encontrarán en las cenizas.

En los estudios de riesgo para obtener las tasas de emisión se miden las emisiones de los metales en la fuente emisora, y se utilizan modelos de dispersión en el aire para predecir el promedio anual máximo de la concentración del metal a nivel de piso, fuera y dentro del perímetro de impacto del incinerador.

Los riesgos a la salud por la emisión de compuestos orgánicos son más bajos en frecuencia que los riesgos por emisión de metales.

El riesgo individual carcinogénico para las emisiones de berilio se calculó en 4.48×10^{-11} y para el cromo se calculó en 3.47×10^{-6} .

Los riesgos a la salud por la exposición a sustancias no carcinógenas son bajos, los valores de estas sustancias encontrados en las emisiones están por debajo de las dosis diarias aceptables, las concentraciones máximas a nivel de piso para 24 metales y para los bifenilos policlorados fueron menores al 2% del valor máximo permitido para una exposición continua.

De los compuestos orgánicos que son emitidos por los incineradores de residuos los más estudiados en la actualidad son las **dioxinas y los furanos**.

14. Dioxinas y Furanos.

El nombre de dioxinas es el genérico de un grupo de sustancias que toman su apelativo de la sustancia Dioxina, en su forma química la Dioxina consta de dos anillos aromáticos unidos por dos uniones de oxígeno y con cuatro cloros distribuidos en los dos anillos.

(ESQUEMA FÓRMULA DE LA DIOXINA)

Por su fórmula química la Dioxina, es una 2,3,7,8 Tetra-Cloro Dibenzo Dioxina que se abrevia como 2,3,7,8, TCDD.

Se han publicado numerosos informes sobre los efectos de la Dioxina, en estudios experimentales en animales de laboratorio se encontró que la exposición a la Dioxina produce: cáncer, efectos teratogénicos inmunotoxicidad y efectos adversos sobre la reproducción. Estos efectos se producen con dosis muy bajas del orden de menos de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$, en exposiciones crónicas.

No existen condiciones reales de la exposición únicamente a la Dioxina en la población en general, las fuentes emisoras no emiten únicamente Dioxina sino una mezcla de sustancias congéneres de la Dioxina y otras sustancias muy similares a ella los furanos.

El Furano, sustancia que da su nombre al grupo, por su fórmula química es un compuesto similar a la Dioxina, contiene dos anillos aromáticos unidos por un oxígeno y con cuatro cloros distribuidos en los anillos.

(ESQUEMA FÓRMULA DEL FURANO)

En resumen las dioxinas son el grupo de las Poli-Cloro-Dibenzo-Dioxinas y se hace referencia a las mismas por sus siglas PCDD. El grupo de congéneres del furano químicamente son las Poli-

Cloro-Dibenzo-Furanos, con siglas PCDF, entre ambos grupos suman más de 200 sustancias congéneres, 75 pertenecen a la familia de los PCDD y 135 a la familia de los PCDF. Es importante señalar que no todos estos congéneres tienen la misma capacidad tóxica que la Dioxina original, además de que no existen datos experimentales sobre la toxicidad de cada uno de estos 200 diferentes tipos de sustancias, sin embargo sí se ha podido relacionar la estructura de las dioxinas y furanos y su potencial toxicidad con base en datos experimentales que confirman la fuerte relación entre estructura y actividad.

Estas sustancias se aislaron como contaminantes de los herbicidas 2,4,5 T y Silvex, que salieron al mercado entre 1970 a 1980. Subsecuentemente se analizó la posibilidad de que durante la manufactura de otros plaguicidas organoclorados también se formaran dioxinas y furanos. Otros materiales relacionados con productos comerciales y que pueden estar contaminados con dioxina/furanos son el cloranil, los retardadores de la combustión de telas y otros materiales similares, compuestos que en lugar de cloro contiene bromuro.

Bifenilos Polí Clorados, PCB

Los PCB son las siglas del nombre en inglés, Poli-Chloride-Biphenyls, de los compuestos que químicamente constituyen la familia de los bifenilos policlorados, con 209 congéneres, de los cuales solo 11 son tóxicos con una toxicidad del tipo dioxina y son aquellos que tienen 4 o más cloros con no más de una sustitución en posiciones orto, (2,2'; 6,6' etcétera).

15.- Toxicología de las dioxinas y furanos

- Generalidades

Todas las sustancias a las que nos estamos refiriendo: dioxinas, furanos y bifenilos policlorados, tiene las siguientes características físico- químicas: son poco solubles en agua, pero son muy solubles en grasas o en solventes de grasas; tienen una presión de vapor baja, es decir no se volatilizan; en el medio ambiente, sobre todo en los suelos, persisten en su forma original y tienden a bioacumularse ya que al ser absorbidos por organismos vegetales o animales se acumulan en sus tejidos.

En general estas sustancias, dioxinas, furanos y PCB, que se encuentran adsorbidas a cualquier tipo de partícula, son muy estables ya que su tendencia a lixiviarse o a volatilizarse disminuye. Por otro lado, sólo cuando estas sustancias están en fase gaseosa o en interfases agua / aire o agua / tierra o cuando se encuentran en solventes orgánicos pueden ser transformadas por efecto de una fotodegradación.

De acuerdo a lo anterior no es extraño que en los países más industrializados, estas sustancias en la actualidad se encuentren en suelos y sedimentos; pero no son medibles ni en las columnas de agua de los ríos, lagos, etcétera ni en el aire. Las dioxinas y furanos más clorados, hexa y hepta clorados, en el aire se encuentran adsorbidos a partículas en especial se asocian a las partículas de materia orgánica, en tanto que los penta y tetraclorados se encuentran en fase gaseosa.

Con la información que se cuenta se ha estimado que las dioxinas y furanos de los suelos y sedimentos se han ido acumulando por años y en un menor grado se han acumulado en la biota de tal manera que existen concentraciones medibles de estas sustancias en los alimentos de consumo general.

- Efectos Tóxicos de las Dioxinas y Furanos.

Sobre los efectos tóxicos de estas sustancias, existe una gran cantidad de información al respecto de la mutagenicidad y teratogenicidad de las dioxinas y furanos obtenida a partir de pruebas de corta y larga duración, así como de numerosos trabajos experimentales in vivo en mamíferos, sin embargo los datos utilizados para determinar los factores de toxicidad equivalente de las dioxinas y furanos en su mayoría se derivaron de pruebas de corta duración in vitro, posteriormente se encontró que estos datos se correlacionaban positivamente con los resultados de las pruebas de toxicidad subcrónica, in vivo.

La respuesta del organismo expuesto a las dioxinas y furanos se inicia con el aumento en el nivel de la enzima Aril Hidrocarburo Hidroxilasa (AHH), la producción de esta enzima responde a la señal que se genera por la unión de la dioxina o del furano a unos receptores, que se encuentran en el citosol de todas las células del organismo. Los receptores celulares se ajustan a la configuración del cloro, y este cambio induce la producción de la enzima. La inducción enzimática de la AHH es una respuesta general del organismo y su magnitud depende de la cantidad y accesibilidad de los receptores en el organismo y de la cantidad de sustancia inductora, esta es una respuesta pleiotrópica, es decir de todas las células del cuerpo; de esto se infiere que a una dosis baja se pueda producir una respuesta múltiple y evidente. Los efectos más frecuentes e intensos de esta inducción se observan como: atrofia tímica, pérdida de peso, carcinogenicidad, teratogenicidad e inmunotoxicidad.

- Mediciones de Toxicidad.

Con base en datos experimentales, para toda sustancia de tipo dioxina o furano se ha calculado su factor de toxicidad equivalente, (Toxicity Equivalent Factor, TEF), para lo cual se toma como valor base la toxicidad de la Dioxina.

En las mezclas de PCDD y PCDF se identifican cada componente y se obtienen los TEF para cada una de las dioxinas y furanos presentes, se suman esos valores y al número resultante se le denomina la cantidad equivalente de toxicidad de la mezcla, Toxicity Equivalent Quantity, TEQ.

Los TEF van del valor máximo 1 para la Dioxina TCDD, y de aquí en adelante van disminuyendo: primero a un valor 0.5 y luego a valores menores hasta el mínimo de 0.001 en función del aumento en el número de cloros en exceso de los 4 Cl que se encuentran en las posiciones: 2,3,7 y 8 de la Dioxina original; es decir el Penta-Cloro es menos tóxico que Tetra-Cloro; el Hexa-Cloro es menos tóxico que el Penta-Cloro y el Hepta-Cloro es menos tóxico que el Hexa-Cloro, esta situación se esquematiza de la siguiente manera: TCDD > PCDD > HxCDD > HpCDD situación similar en los furanos TCDF > PCDF > HxCDF > HpCDF > OCDF. Además el furano y los furanos en general son menos tóxicos que las dioxinas.

De las 75 sustancias congéneres de la familia de las dioxinas, PCDD, solo 7 tienen cloros en las posiciones 2,3,7, y 8, por otro lado de los 135 congéneres de la familia de los furanos, PCDF, solo 10 tienen cloros en las posiciones 2,3,7, y 8, por lo antes mencionado son estas sustancias las potencialmente tóxicas, con un tipo de toxicidad comparable a la de la dioxina.

Por otro lado los furanos y dioxinas que no tienen cloros en las posiciones 2, 3, 7, y 8 no son tóxicos, tampoco son tóxicos los mono, di y triclora dibenzodioxinas o dibenzofuranos a los que se hace referencia con las siglas CDD y CDF respectivamente.

16.- Síntesis en general de dioxinas y furanos

Los mecanismos de formación de las policlorodibenzo Dioxinas (PCDD) y los policlorodibenzo Furanos (PCDF), no son conocidos. ¿Cómo el oxígeno y el cloro se introducen a una molécula o cómo se forma una nueva molécula?. Otra importante pregunta es ¿Por qué en todos los procesos de combustión de materiales orgánicos se forman dioxinas y furanos y cuáles pueden ser los factores catalizadores de la reacción?.

Es razonable aceptar que en las reacciones térmicas en donde se encuentran precursores directos de los furanos y dioxinas como son: los cloruros de polifenoles; los cloruros de polivinilo, PCV, los cloruros de polibencenos etcétera, se puedan formar las sustancias mencionadas. Además se conoce que en las reacciones térmicas de los hidrocarburos alifáticos clorados se pueden cerrar sus cadenas lineares formando anillos de tipo dioxina o furano. ¿Pero cómo es posible a partir de moléculas de carbón en presencia de cloro Cl y de oxígeno O₂ a temperaturas altas formar moléculas tan complejas como las dioxinas y furanos?.

También se forman dioxinas y furanos durante la pirólisis y cloración de algunos polímeros naturales como la lignina que se encuentra en los troncos de los árboles.

- Formación de dioxinas y furanos durante la incineración

El rompimiento térmico y rearrreglo molecular de varios precursores de las dioxinas y furanos como son los PCB, los fenoles clorados, bencenos clorados, etcétera, se lleva a cabo de la siguiente manera, primero el precursor se condensa y se adsorbe a las partículas de las cenizas en suspensión (fly ash) y en esta matriz ocurren reacciones de rompimiento y rearrreglo de las moléculas que, son catalizadas por la presencia del ion cloro, Cl, que también está adsorbido a las partículas. Las temperaturas necesarias para que se lleven a cabo estas reacciones se encuentran entre 250 a 450 °C. Es importante hacer notar que estas temperaturas son muy bajas comparadas con las temperaturas que se alcanzan en las cámaras de combustión, por lo tanto, las dioxinas de la incineración se forman en sitios alejados de las cámaras de combustión, en los sitios de enfriamiento de los gases, en los intercambiadores de calor, en los tubos del boiler y en el equipo de control de la contaminación.

Además de los mecanismos anteriores también existe síntesis de novo de dioxinas y furanos en sitios con temperaturas mayores a los 450°C, en presencia de ácido clorhídrico, HCl, a partir de sustancias que no son consideradas como precursores ya que su fórmula no tiene ninguna relación con la de las dioxinas, estas sustancias son las siguientes: productos del petróleo, plásticos clorados, cloruro de polivinilo, PVC; plásticos no clorados, poliestireno, celulosa, lignina, coque y carbón; en la síntesis de novo con estas sustancias siempre es necesaria la presencia de un donador de Cloro.

16.- Fuentes Emisoras de Dioxinas y Furanos

Se emiten o descargan dioxinas y furanos en:

a.1) Varios procesos industriales como en la industria del papel, en el blanqueamiento de la pulpa del papel con Cloro. En los efluentes y en los lodos de la industria productora de pulpa de papel, en el papel se encuentran niveles de 4,7,8, CDD y CDF del orden de partes por trillón, ppt, nanogramos por litro.

a.2) En la manufactura comercial de ácido clorhídrico, HCl, en la síntesis de: fenoles clorados, PCB, herbicidas fenólicos, compuestos alifáticos clorados, éteres difenilos clorados; sin embargo, en los productos finales el contenido de estos contaminantes no excede los niveles máximos permitidos. La producción de la mayoría de las sustancias enunciadas en el párrafo anterior está suspendida en los países desarrollados.

b) La combustión e incineración de todo tipo de basura y en particular en la incineración de residuos municipales, hospitalarios, industriales y peligrosos.

c) Los procesos de la metalurgia: producción de acero, fundiciones, hornos de recuperación de chatarra metálica, y

d) La combustión de carbón, madera, productos de petróleo y llantas usadas para la generación de energía.

Otra fuente de contaminación ambiental por dioxinas y furanos son las reservas de las mismas que se encuentran en depósitos, embalses, rellenos sanitarios etcétera, por la inadecuada disposición en estos sitios de materiales que contienen o forman dioxinas y furanos. Estas sustancias se acumulan por años en suelos, sedimentos y materia orgánica.

Por otro lado, si se toma el ejemplo de EUA, en forma conjunta de todas las fuentes existentes por giro, en los inicios de los años 90, la mayor fuente de dioxinas y furanos era la incineración de residuos hospitalarios, cuando en ese país se contaba con 6,000 incineradores de residuos hospitalarios a los cuales en un principio no se les requería un control tecnológico de sus emisiones.

Sin embargo, en forma individual, si se estiman las emisiones de incinerador por incinerador, entonces las cantidades de dioxinas y furanos emitidas son relativamente bajas, por lo tanto el impacto local de cada incinerador de residuos hospitalarios por la emisión de TCDD y TCDF es bajo y muy variable.

Los incineradores de basura municipal emiten una alta cantidad de dioxina y furanos que también, como en el caso anterior, se encuentran en las cenizas.

Las cementeras que utilizan como combustibles solventes residuales, clasificados como residuos peligrosos, emiten gases con dioxinas y furanos, asimismo estas sustancias se encuentran en los polvos del clinker.

La contribución de las cementeras, que utilizan residuos peligrosos como combustibles, a la carga ambiental de dioxinas y furanos va de moderada a grave, según su distribución en cada país, por ejemplo en los EUA cerca del 16% de las cementeras queman residuos peligrosos como combustible auxiliar.

En la industria del papel, además de las descargas de dioxinas en sus emisiones al agua y a los suelos, se han detectado dioxinas en sus productos finales. Sin embargo, se informa de cambios implementados en esta industria que han permitido, en los EUA de 1988 a 1992, reducir la descarga de dioxinas en un 90%

Emisiones de Dioxinas y Furanos por tipo de Incinerador

Tipo de Incinerador	Emisión de Dioxinas ng/m ³	Emisión de Furanos ng/m ³	TEQ ng/m ³	TEQ g/año
Residuos Industriales	ND	1.7	0.57	0.02

peligrosos				
Residuos Municipales	552	117	140	74
Residuos Hospitalarios	92.8	1655	10.8	0.14

- Diferencias en las emisiones de los incineradores de residuos municipales y las de los incineradores de residuos hospitalarios.

Se ha calculado en los EUA que los incineradores de residuos municipales emiten el 70% del total de las dioxinas emitidas. Al analizar el riesgo que representan este tipo de fuentes emisoras de contaminantes cuando están situadas en las cercanías de alguna población se definió un límite máximo de emisión permitida de 1 ug/m3 de la cantidad de toxicidad equivalente (TEQ) de la mezcla de dioxinas y furanos que se emiten en una fuente.

Para determinar el riesgo de la exposición a dioxinas y furanos se utiliza un modelo donde se considera un incinerador con una capacidad de combustión de 250,000 tons/año, en este modelo la principal exposición a las dioxinas es a través de una cadena alimentaria que se inicia a partir del deposito sobre el pasto de las partículas de la combustión contaminadas con dioxinas; de ahí estas partículas ingresan al ganado que paca en los campos, posteriormente por la ingestión de carne, leche y vísceras de estos animales las dioxinas llegan al humano.

Además, en el modelo se toma en cuenta otra cadena a partir del deposito de las partículas en frutas y vegetales y su posterior ingesta por el humano; por último se examina la exposición directa a través del aire y el paso de las dioxinas al cuerpo por inhalación de partículas contaminadas.

Con el modelo reseñado definieron el límite máximo permitido de emisión de dioxinas y furanos, de tal manera que las emisiones de todo nuevo incinerador que se quiera instalar en una región no deben de agregar más del 1% en peso del nivel de emisión de fondo ya existente, emisión que depende de los incineradores instalados y trabajando durante varios años.

De acuerdo al modelo anterior en condiciones normales la dosis promedio permitida para un habitante por día es de 1 a 2 pg de TEQ de la mezcla de dioxinas y furanos / kg de peso. Si se consideran situaciones extremas por ejemplo áreas urbanas por el alto nivel de fondo en la concentración de dioxinas y furanos lo máximo permitido es un aumento del 2%, en tanto que en áreas rurales lo máximo permitido sobre el valor de fondo es del 0.8%.

El ejemplo del peor escenario posible del modelo está construido a partir de una área urbana en donde la población vive toda su vida y consume solo alimentos de la zona, como son: leche, carne, pescado, verduras, frutas, etcétera; en este escenario toda exposición adicional para poderse controlar tendría que aumentar solo un 20% sobre el valor medio de fondo. Por lo tanto los nuevos incineradores deben cumplir con la norma para no provocar aumentos sobre lo que se considera, en este escenario, la ingesta diaria tolerable de 10 pg/ kg/ día.

En la ciudad de Lille al norte de Francia en 1998 se clausuraron tres incineradores de residuos domésticos, después que se corroboró la presencia de dioxinas en la leche proveniente de los establos de la región. Se encontró un máximo de 15 picogramos de dioxinas por litro en la leche de dos establos que se encuentran vientos debajo del incinerador de la región. En ese país la concentración máxima permitida en leche es de 3 picogramos por litro y los productos que contengan más de 5 picogramos no pueden ser vendidos al público.

La pregunta es si la ingesta diaria tolerable calculada de esta manera, protege también contra daños reproductivos, que anteriormente no se habían considerado, de no ser así entonces el valor de esta dosis estaría por arriba del verdadero valor tolerable por un factor de 100, es decir que la dosis diaria tolerable tendría que ser de 0.01 pg/kg/día.

Otra pregunta sería a que se deben los valores de fondo que existen en general en los países desarrollados y si suponen están relacionados con el funcionamiento de los incineradores antiguos

En 1996, bajo la jurisdicción de las nuevas regulaciones del funcionamiento de las calderas y hornos industriales, la Agencia del Ambiente de los EUA y el gobierno del estado de Kansas dan el primer permiso para instalar nuevos incineradores en donde se controlan las emisiones no solo de partículas con dioxinas sino también las de las partículas con metales pesados: arsénico, berilio, cadmio, cromo, plomo, mercurio y talio

La incineración de residuos municipales que contienen grandes cantidades de materiales orgánicos potencialmente pueden formar y emitir todos los posibles isómeros de las dioxinas (75) y los furanos (135). Estos compuestos se pueden detectar a la salida de las chimeneas de los incineradores municipales; la cantidad total y las cantidades parciales de PCDD Y PCDF varían diariamente y dependen además de las características de los residuos orgánicos de las condiciones de la incineración.

En los incineradores hospitalarios la concentración promedio de dioxinas en las partículas en suspensión emitidas es mayor que la concentración que se encuentra en las cenizas de la incineración de residuos municipales, sin embargo, no se conoce si las diferencias se deben a las condiciones térmicas o a la mayor cantidad de plásticos que se encuentran en los residuos hospitalarios.

- **Control de las emisiones**

Existen varias técnicas para disminuir la emisión de dioxinas y furanos (PCDD y PCDF) en los incineradores, teóricamente la disminución se logra si

- a) Las cenizas en suspensión se incineran a temperaturas muy altas.
-
- b) Solo se permite la incineración de material con una cantidad baja de carbón orgánico residual
-
- c) Antes de iniciar la incineración se rocían con agua los residuos y se mezclan activamente con aire.
-
- d) Se reduce el tiempo de residencia de las cenizas suspendidas y partículas en las áreas del incinerador con temperaturas bajas (300°C).
-

- e) Antes de la combustión se remueve el material metálico incombustible, como por ejemplo el cobre.
-
- f) En los incineradores de dos cámaras en donde los residuos en combustión permanecen en estas cámaras entre 3 a 7 segundos, es necesario contar con temperaturas muy altas en ambas cámaras, para evitar el efecto de post-combustión, durante el cual se forman las dioxinas y furanos. Los quemadores de la cámara de combustión secundaria operan a temperaturas por arriba de 800 °C, pero no necesariamente a estas temperaturas se destruyen los PCDD y PCDF.

Todos los datos empíricos anteriores permiten establecer que en la síntesis de dioxinas y furanos emitidas en los incineradores influye la temperatura, el tiempo de residencia de los gases en las cámaras y las diferentes mezclas que se forman.

17.- Presencia de las dioxinas y furanos en los alimentos.

Con base en las cantidades de toxicidad equivalente, TEQ la relación de los niveles de dioxinas y furanos en los alimentos en general es la siguiente: en el pescado se encuentran una TEQ de 0.59 > en los productos lácteos 0.35 > en la carne de res 0.29 > en la carne de cerdo 0.10 > en la carne de pollo 0.07 > y en huevos la cantidad de toxicidad equivalente, TEQ es solo de 0.0004.

- ¿Cómo llegan estas sustancias a los alimentos?

La hipótesis más aceptada es que estas dioxinas y furanos entran al medio ambiente a partir de las emisiones al aire de muy diferentes fuentes y las partículas que contienen estas sustancias se depositan en los suelos, pastos y en el agua. A través de las columnas de agua se transportan hasta los sedimentos; de estos medios, suelos, pastos y sedimentos, pasan a la cadena alimentaria directamente hacia los animales que se encuentran en contacto con estos medios; dado el carácter lipofílico de estos compuestos no se considera como una vía importante el paso de las mismas de los suelos por absorción hidrofílica hacia las plantas.

18.- Situación de la incineración de residuos, realidades y especulaciones.

La implantación de la incineración como el método idóneo para la destrucción de los residuos generados por el hombre se ejemplifica con el caso de los EUA, país en donde se produce la mayor cantidad de residuos industriales en el mundo, en donde aproximadamente el 97% de los residuos peligrosos producidos en este país se eliminan a través de las aguas residuales industriales reguladas bajo la Ley del Agua Limpia. (Clean Water Act CWA). En 1981 la proyección de la producción anual de residuos fue de 265 millones de tons, en 1987 la estimación fue de 216 a 249 millones de tons; de estos residuos industriales, 101 eran residuos no peligrosos lo cual deja un remanente de 148 millones de tons de residuos peligrosos y de éstos sólo un porcentaje menor al 1% fue incinerado.

Las cifras de residuos incinerados se encuentra entre 1 MMT en 1981 hasta 2.7 MMT en 1983, estas operaciones se llevaron a cabo en 227 incineradores para residuos peligrosos que se encuentran diseminados a lo largo de todo el territorio de los EUA.

En función de que las regulaciones para los confinamientos de residuos peligrosos eran cada vez más rigurosas se propició el que un mayor número y cantidad de residuos peligrosos fueran incinerados, cerca de 7MMT por año, en 1991. Sin embargo, vale la pena comentar que en 1987 solo 13 estados de USA contaban con incineradores comerciales de residuos peligrosos en

operación. Los permisos para el funcionamiento de nuevos incineradores en ese país tardan de 2 a 3 años antes de que exista la probabilidad de que sean aprobados.

Entre 1981 y 1987, 100 incineradores de residuos peligrosos comerciales dejaron de funcionar, de 57 compañías que vendían incineradores para residuos peligrosos en 1981, 23 se salieron del negocio.

En 1989, otros 55 incineradores cerraron sus instalaciones, pero a 120 nuevos incineradores se les dio permiso de operar y a otros 55 que no tenían un permiso definitivo se les dejó continuar su operación. En 1991 existían 150 incineradores con permiso y operando normalmente, además existían 925 boilers industriales que quemaban residuos peligrosos como combustibles.

De acuerdo a la experiencia de los EUA se considera que existe un menor riesgo en la incineración de los residuos peligrosos cuando las instalaciones se encuentran en el sitio donde se generan y se incineran solamente los residuos de ese generador; el riesgo aumenta si los incineradores están alejados del sitio de producción de los residuos y si sirven a múltiples generadores.

Por el hecho de que los incineradores tienen una localización física fija, se pueden tomar las medidas de control inmediatas en caso de afectar, por la emisión de gases a la población circundante en contraposición con los peligros de los confinamientos de residuos peligrosos en donde la vía de mayor riesgo es su diseminación por los suelos a través de lixiviados que pueden llegar hasta aguas subterráneas de abastecimiento o afectar por su permanencia en los suelos a los organismos animales y vegetales de ese hábitat. Este tipo de contaminación es mucho menos aparente e inmediata pero más peligrosa a largo plazo que la contaminación de un incinerador. Para el público en general es más sencillo contender con los mecanismos para controlar la construcción y funcionamiento de incineradores que los correspondientes al funcionamiento de los confinamientos.

- Otras Combustiones que forman Dioxinas y Furanos

Por otro lado es importante recordar que la simple combustión de madera no tratada produce altos niveles de dioxinas, de tal manera que se encuentran dioxinas en el hollín de los hornos domésticos que funcionan con madera, es obvio que los niveles de dioxinas en las emisiones provenientes de las casas habitación son mucho menores que los niveles registrados en las cenizas en suspensión emitidas por los incineradores comerciales y municipales.

Asimismo se producen concentraciones moderadas de PCDD y PCDF durante la combustión de los combustibles fósiles, los más utilizados en el mundo; de éstos el que mayor cantidad de dioxinas y furanos produce es el carbón.

Los aceites que son utilizados en diferentes tipos de motores pueden contener diversos aditivos halogenados como el dibromoetano y dicloroetano, precursores de dioxinas y furanos; los aceites usado se recuperan y en ellos se encuentran cantidades medibles de PCDD, PCDF y PCB.

En varios estudios se ha encontrado que existe una asociación entre el contenido de compuestos orgánicos halogenados en el material que se incinera y el nivel de emisión de PCDD y PCDF, es así que se asegura que en los sitios en donde el contenido de plásticos incinerados es alto se producen las mayores emisiones de dioxinas.

Uno de los plásticos más utilizados actualmente es el cloruro de polivinilo (sus siglas son PVC), al respecto se ha investigado el papel que juegan los desechos con PVC en la formación de las dioxinas; en investigaciones en el laboratorio cuando a un material en combustión se le agrega

previamente el 300% o más de su peso de PVC, proporción que es la que normalmente se encuentra en los residuos que al incinerarse emiten dioxinas. En los resultados de estos experimentos no se encontró en las cenizas en suspensión ni en los gases emitidos un aumento significativo de la concentración de dioxinas.

Por otro lado existen evidencias como las siguientes: En el incendio de un almacén donde se quemaron 200 tons de PVC puro y 500 tons de plásticos y otros materiales solo se encontraron cantidades insignificantes de dioxinas en los gases de combustión.

También se informa que no se emiten dioxinas y furanos cuando se lleva a cabo la incineración eficiente de residuos peligrosos que contienen PCBs y clorobenzenos. En contraposición a lo reseñado en los párrafos anteriores en las plantas de recuperación de metales a partir de cables recubiertos con PVC, en las fundiciones de cobre, cuando se destruye por calor el PVC en presencia de cobre sí se producen cantidades medibles de dioxinas y furanos.

La combustión de los residuos de los transformadores eléctricos produce grandes cantidades de PCDD y PCDF, que provienen de los compuestos policlorados aromáticos, conocidos por el nombre de askareles, que son los líquidos que funcionan como aislantes en los transformadores.

- Estabilización de materiales contaminados con dioxinas.

La estabilización es un método para remover niveles bajos de dioxinas que contaminan medios ambientales accesibles, principalmente el agua; como ya se ha mencionado la solubilidad de las dioxinas en el agua es mínima de 8 - 9 ppt y por otro lado su afinidad de adsorción a las superficies es muy alta, de tal manera que en un medio acuoso contaminado se induce el transporte de las dioxinas hacia los sedimentos y los suelos, en donde se supone se estabilizan.

La fijación de las dioxinas y furanos que se encuentran en residuos peligrosos se lleva a cabo en materiales del tipo de cemento Portland, óxidos de calcio (lime), asfaltos etcétera, al respecto existen pruebas de la ausencia de TCDD en los lixiviados que experimentalmente se obtiene del asfalto en donde se encuentran dioxinas fijadas en este material. También se ha intentado un método de vitrificación in situ, que consiste en mezclar tierra normal con residuos para formar un bloque estable de material vidriado que se parece a la obsidiana natural.

En los confinamientos de residuos peligrosos se aceptan residuos con niveles máximos de TCDD de 10 ppb. El nivel promedio de contaminación con dioxinas en materiales inertes y residuos de combustión se encuentra alrededor de 100 ppb de TCDD; en los confinamientos de residuos peligrosos que cuentan con una doble capa de aislamiento y sistemas de control de lixiviados se aceptan lodos con componentes inorgánicos inmovilizados en materiales de fijación adecuados con un nivel de 100 ppb de TCDD.

Por otro lado se ha utilizado el almacenamiento de los residuos peligrosos en minas de sal.

Otros autores proponen como método principal para destruir a las dioxinas y furanos la incineración. A través del efecto del calor se trata de destruir estos compuestos organoclorados exponiéndolos a temperaturas muy altas de 600 a 800 °C, rayos infrarrojos, y radiaciones ultravioleta

Como ejemplo de la eficiencia en la incineración de las dioxinas y furanos, se tiene información sobre la incineración de 2500 kg. de residuos contaminados con 600g de TCDD que produjeron emisiones con niveles de dioxinas por debajo de los límites detectables (0.05 a 2 ug/m³).

En los Estados Unidos se cuenta con un sistema de incineración móvil para tratar en su sitio a los suelos contaminados con una eficiencia de remoción y destrucción de organoclorados de más del 99,99 %. La tierra de los suelos contaminados se alimenta a un kiln (horno rotatorio que se utiliza principalmente en las cementeras) donde se alcanzan temperaturas entre 1000 a 1800 ° F.,

también se utiliza otro tipo de horno en donde en la cámara primaria de incineración se alcanzan temperaturas de 1260°C, por medio de rayos infrarrojos.

Existen métodos más modernos como los sistemas de oxidación supercrítica en donde se destruyen residuos líquidos a temperaturas cercanas a 374°C y una presión de 215 bars.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

**DIPLOMADO EN EL CONTROL DE LOS RESIDUOS
GENERADOS EN HOSPITALES Y CENTROS DE
SALUD**

MÓDULO II

**IMPACTO Y RIESGO A LA SALUD Y AL AMBIENTE
RELACIONADOS CON EL MANEJO DE RESIDUOS
BIOLÓGICO-INFECIOSOS**

TEMA

**IMPACTO AL AMBIENTE POR EL MANEJO DE RESIDUOS
BIOLÓGICO-INFECIOSOS**

**CONFERENCISTAS
DRA. CLAIRE RUYMBEKE
PALACIO DE MINERÍA
MAYO 2000**

CURRICULUM VITAE

Claire Van Ruymbeke Debauche

Licenciada en física industrial, Universidad de ciencias exactas y naturales Clermont II, Francia, doctor en química, opción ingeniería ambiental, de la universidad de Savoie, Francia, 1991. Asesoría y estudios con sector público y privado en área de contaminación ambiental, meteorología y análisis de riesgos (modelización de dispersión de contaminantes y de consecuencias de riesgos), capacitación e investigación en el área de meteorología e ingeniería ambiental (principalmente contaminación del aire, suelo y residuos biológico-infecciosos), participación en numerosos cursos y seminarios e impartición de conferencias y cursos relacionados con ingeniería ambiental

Jefe del Departamento de estadísticas climatológica en el Servicio Meteorológico Nacional, en Tacubaya, Subdirector de administración de la calidad del aire, en SEDUE, investigador en las técnicas alternativas de la medición de las emisiones vehiculares en el Instituto Nacional de Investigación sobre los Transportes y su Seguridad (I.N.R.E.T.S), Francia, y gerente de seguridad industrial y medio ambiente en Bureau Veritas, México.

Vocal de la Academia Mexicana de Auditores Ambientales, registro como auditor coordinador ante el Comité de Evaluación y Acreditación de Auditores. Socio Ejecutivo en la Soresca. Socio de la Amcrespac. Actualmente es director general de Grupo van Ruymbeke, que conforman las empresas *Estudios Ambientales, S.A. de C.V.*, y *Tlalli, Ingeniería de suelos, S.A. de C.V.*

IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR EL MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS

INTRODUCCIÓN

Un residuo peligroso biológico-infeccioso (RPBI) se caracteriza por presentar bioactividad que se refiere a la característica de ciertos materiales biológicos que conservan la presencia viva de microorganismos que pueden ser patógenos para el ser humano o para las especies animales.

En materia de impacto ambiental es importante definir los principales receptores de estos contaminantes, así como las actividades que ocasionan su generación. Ambos permiten identificar las principales interacciones que se darán en el ambiente y que pueden ser causantes de impactos ambientales no deseados. De su conocimiento dependerá contar con las medidas oportunas para evitarlos o minimizarlos de tal forma que no se traduzcan en situaciones de emergencia.

Con estas bases el Sistema de análisis se centra en la fuente de generación y sus posibles receptores en el ambiente. Un análisis detallado de este sistema nos permite clasificar a los probables receptores como receptores primarios y receptores secundarios. Los primeros se refieren al contacto primero que tienen los contaminantes en el medio, siendo el aire, suelo y agua los elementos más probables de entrar en interacción con estos contaminantes.

Los de orden secundario son aquellos elementos que entran en contacto con los elementos primarios y serán las especies vegetales, animales y el hombre, los cuales incorporan estos contaminantes a sus organismos a través de la respiración (inhalación), ingestión y por vía dérmica.

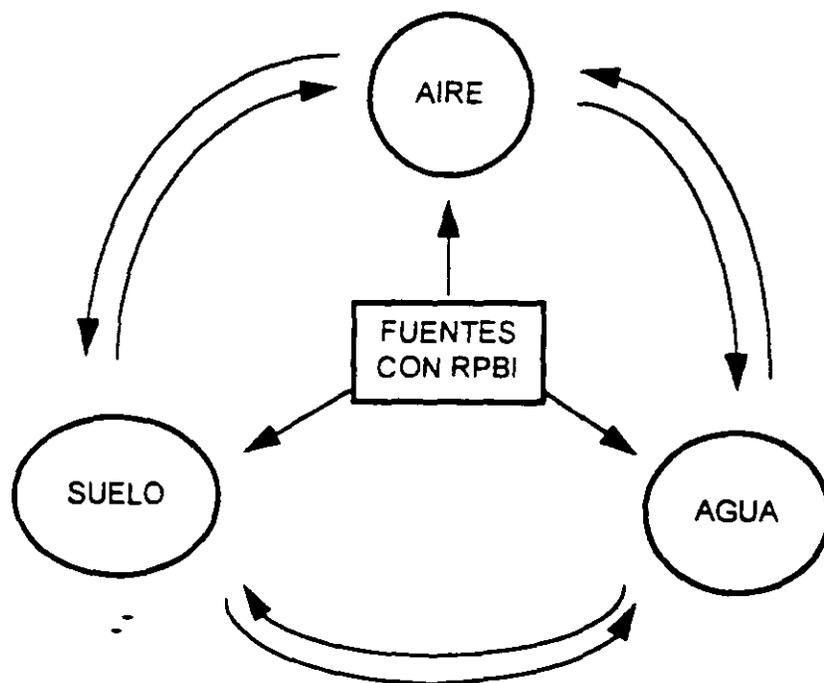
En caso de que un receptor de segundo orden entre en contacto con la población en general y que no se encuentra relacionada al manejo de estos contaminantes, ni se encuentra en un radio de influencia donde exista riesgo por la presencia de estos

contaminantes, se considerarán receptores de tercer orden, lo que a su vez puede casuar contagios a otras personas, en un proceso sinérgico de difícil cuantificación.

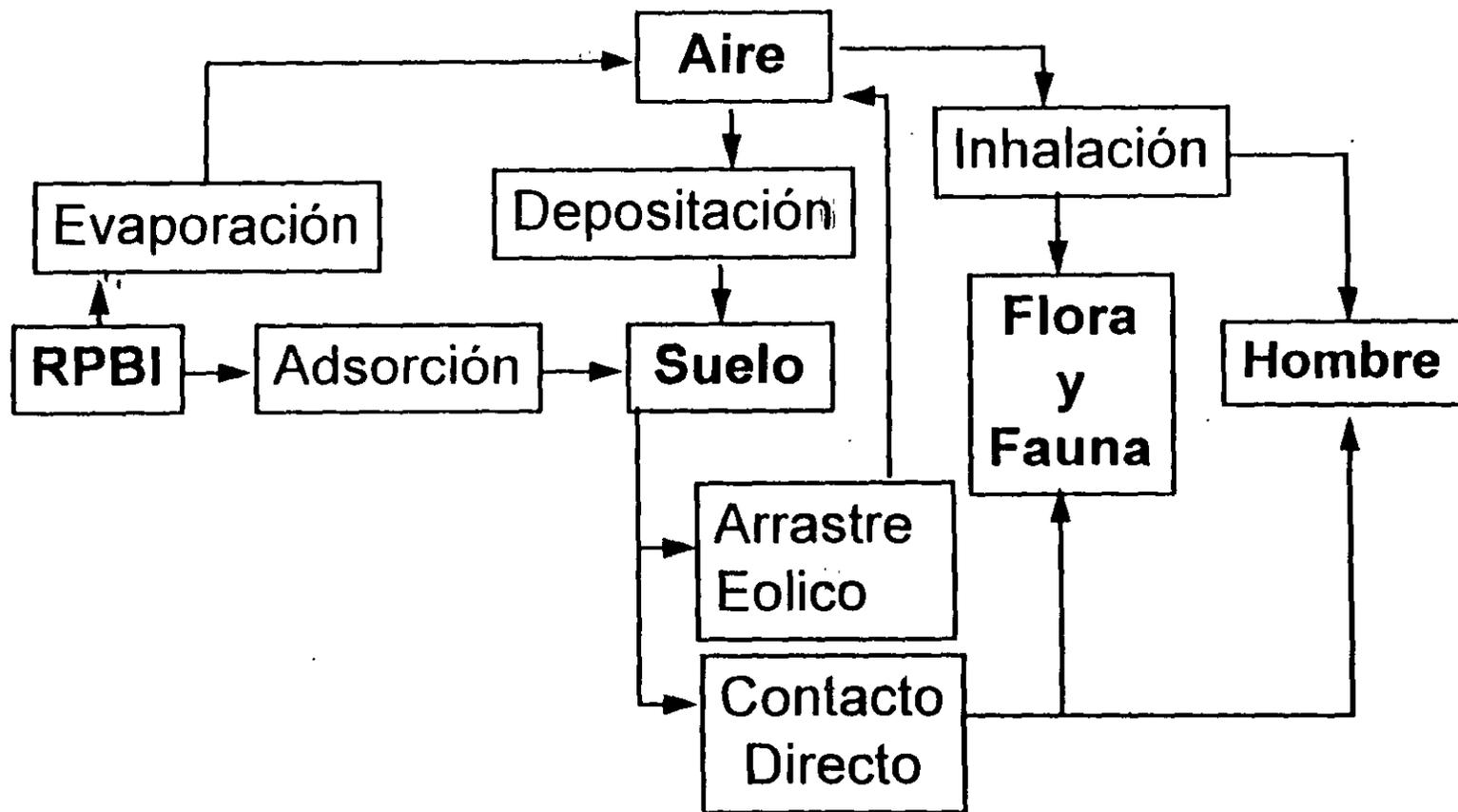
Impacto Ambiental ocasionado por la Disposición Inadecuada de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos

Los impactos esperados en caso de que los residuos biológico-infecciosos sean dispuestos en sitios inadecuados por carecer de las instalaciones mínimas necesarias para evitar que ellos entren en contacto con el entorno, seguirán un patrón de dispersión múltiple. Un ejemplo de ello lo constituyen los diversos tiraderos municipales que hasta no hace mucho tiempo han venido vertiendo estos residuos con el resto de la basura municipal.

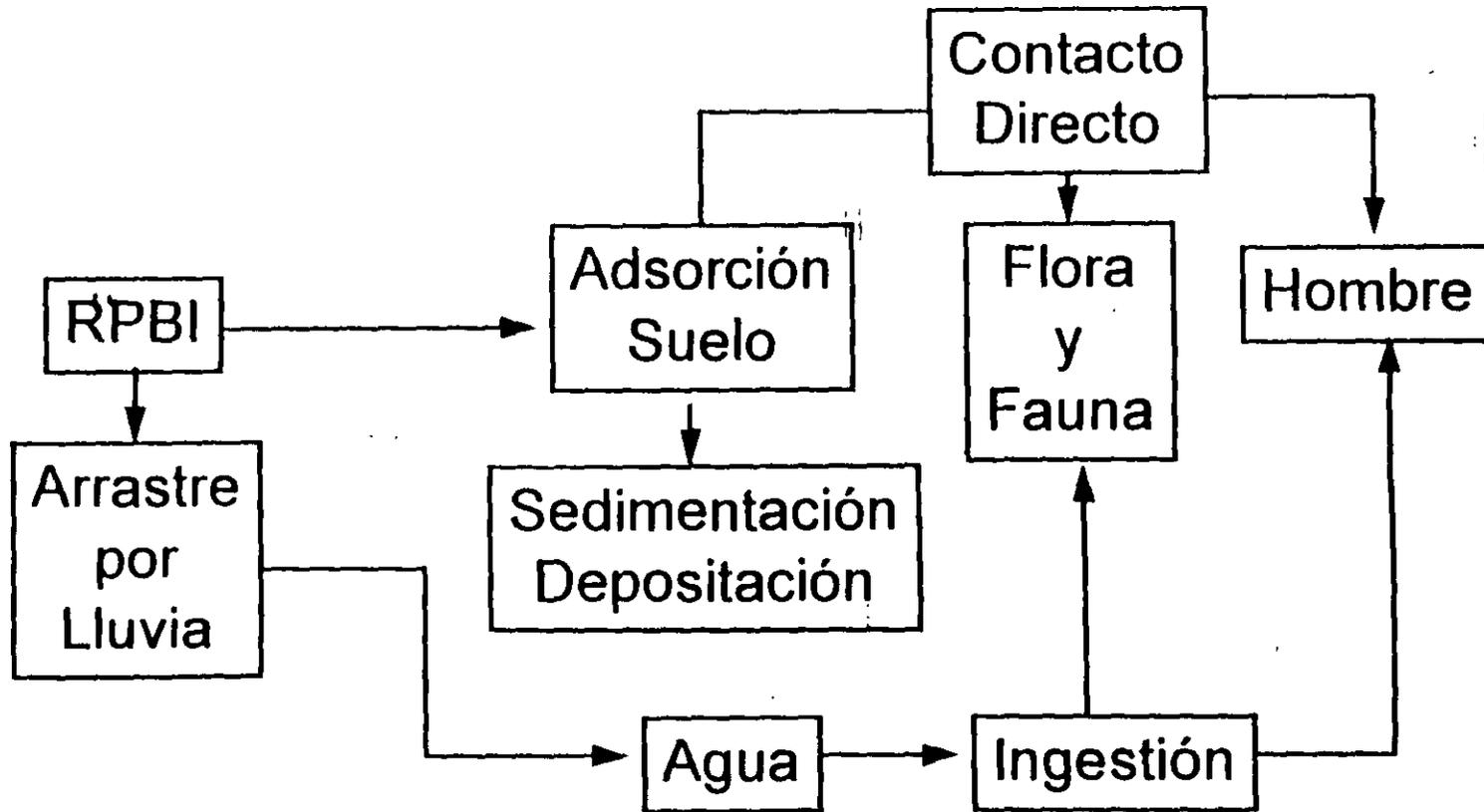
En realidad en un esquema simplificado de la predicción acerca de las rutas probables que seguirá un contaminante en el ambiente, se reconoce que en mayor o menor medida, éstos tenderán a seguir todas las rutas probables hacia los receptores de primer orden (aire-suelo-agua) como se muestra a continuación:



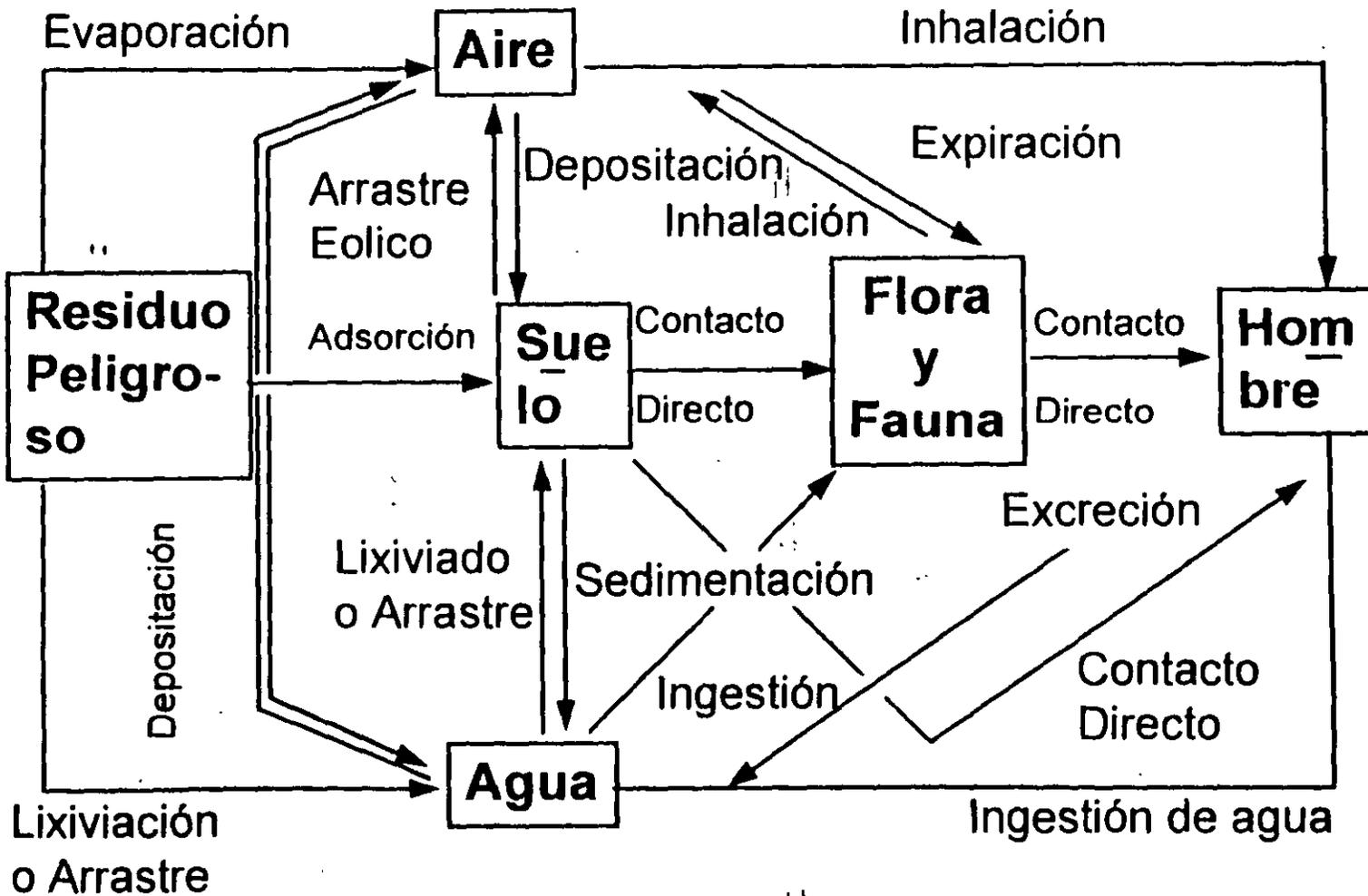
En un ejercicio hipotético para detallar más las muy variadas rutas que siguen los contaminantes en el ambiente, se han desarrollado los diagramas de flujo anexos. En estos esquemas se puede observar los mecanismos de transporte de estos contaminantes, sus principales rutas de exposición y los receptores de primer y segundo orden.



RED INTERACCIÓN AIRE-SUELO MANEJO INADECUADO DE LOS RPBI



RED INTERACCIÓN AGUA-SUELO MANEJO INADECUADO DE LOS RPBI



RUTA DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN EL AMBIENTE

Así, cuando el contaminante llega al suelo, éste se puede adsorber o infiltrar. Si los contaminantes se infiltran existe cierta probabilidad de que éstos lleguen a los mantos freáticos con la consecuente contaminación a los acuíferos. Si éstos permanecen en el suelo pueden ser volatizados por efecto de los vientos y contaminar el aire, o bien pueden ser arrastrados por efecto de la lluvia hacia cuerpos receptores y aguas superficiales.

En este orden de ideas se asume que la presencia de estos contaminantes en el agua se dará a través del arrastre pluvial hacia cuerpos de agua o corrientes superficiales y por lixiviados hacia los acuíferos.

Se reconoce que en cualquiera de estas rutas probables que tengan los contaminantes en el ambiente, su receptor final serán las especies vegetales, animales y el hombre a través de vías de exposición por contacto directo con el suelo, donde se introducirán por ingestión o por la vía dérmica, o bien, pueden ser ingeridos a través del agua o ser inhalados, si éstos contaminantes se encuentran presentes en el aire.

La compleja red que se forma a través de las diferentes rutas de exposición que se presentarán cuando los contaminantes entran en contacto con el ambiente, vanarán dependiendo del sitio donde hallan sido dispuestos. Un sitio determinado tiene características intrínsecas distintivas, como es el tipo de suelo que se presenta, aspectos geomorfológicos y geohidrológicos específicos y condiciones climáticas particulares. Todas estas características van a permitir o condicionar la migración de los contaminantes por las vías hipotéticas que se han mostrado, siendo de complejidad variable en función de la propia dinámica de los ecosistemas, considerando las interrelaciones que se dan entre las interfases aire-agua-suelo-recursos bióticos.

A continuación se detallan algunas características determinantes dentro de los atributos constituyentes del ambiente que influyen de manera directa en la probabilidad de migración de los contaminantes. En el caso del suelo los factores determinantes son su permeabilidad, profundidad efectiva, y estructura y composición, los que de manera

conjunta, permitirán que un contaminante se adsorba o se infiltre al subsuelo. En el caso de las aguas subterráneas los factores relevantes son la profundidad a la que se encuentra el nivel freático, la dirección del flujo subterráneo y el tipo de acuífero presente, ya que dependiendo de éstos existirá la probabilidad de migración de contaminantes a las aguas subterráneas y después a pozos utilizados para extracción de agua potable. La existencia de cuerpos de agua cercanos y corrientes superficiales en donde lleguen los escurrimientos naturales del terreno donde se han dispuesto estos residuos, propiciarán su arrastre a ellos. Los factores climáticos más relevantes son la velocidad, frecuencia y dirección de los vientos dominantes y la intensidad y frecuencia de la precipitación, la temperatura también puede influir en procesos de latencia de los microorganismos patógenos.

Diversos autores han apuntado que la dinámica que siguen los contaminantes en el ambiente es muy dinámico, mencionando a los siguientes factores relacionados con el intercambio de materiales:

Interfase aire/agua: la temperatura, las grasas y aceites en la superficie, partículas suspendidas, disturbios físicos en la superficie del agua (olas, rocíos, rápidos, etc.), contenido de humedad en el aire.

Sedimento-suelo/agua: contenido de materias orgánicas de los suelos, tamaño de partículas, fuerza de mezcla, entre otros.

aire/suelo: velocidad y humedad del aire, textura y contenido de materia orgánica de la superficie del suelo, pendiente, usos del suelo.

biota/agua: temperatura del agua, contenido de sólidos, características fisicoquímicas de los compuestos, características poblacionales y condiciones del hábitat.

Biota/sedimentos-suelo: hábitos alimenticios, tasas metabólicas, situaciones fenológicas que afectan factores de biomagnificación al ser organismos que constituyen los primeros eslabones en las cadenas alimenticias.

Asimismo, estos factores determinarán los mecanismos de transporte de los contaminantes, es decir, si existen las condiciones propicias para que los contaminantes sean arrastrados por dispersión atmosférica, o en los procesos de depositación y probable arrastre pluvial hacia cuerpos de agua y corrientes superficiales.. También inciden en el proceso de lixiviación y migración de los contaminantes a través del suelo hacia las aguas subterráneas.

Con estas bases se considera a los siguientes aspectos determinantes en las rutas de exposición y principales receptores: la existencia de poblaciones de animales silvestres, domésticos o fauna nociva que puedan constituirse como los portadores de los patógenos e infectar al hombre, población humana que esté en contacto directo con estos contaminantes (como pepenadores y trabajadores de limpia), así como la existencia de asentamientos humanos cercanos a los sitios de disposición, la presencia de cuerpos de agua o pozos de explotación de agua para consumo humano o abrevadero de animales, los usos que se le dan al suelo, entre otras situaciones específicas del sitio analizado.

De estas situaciones dependerán las rutas de exposición que se establecerán: ingestión, inhalación o exposición vía dérmica.

Los factores que influyen en incrementar la posibilidad de infección por las rutas expuestas variarán a partir de los receptores primarios donde se encuentran dichos contaminantes. Así en el caso del aire la distancia de los residuos con respecto a probables receptores, la uniformidad de la distribución y el grado de dispersión serán factores determinantes para el transporte de los contaminantes por el aire.

En el caso del agua, la cantidad de organismos patógenos, el tiempo de residencia de éstos en el agua y la vulnerabilidad de los organismos expuestos, serán los factores más relevantes.

En el caso del suelo el tiempo de residencia de los organismos patógenos es el factor más relevante para su dispersión a través del suelo y en menor proporción la vulnerabilidad de los organismos expuestos.

El método de evaluación que deberá aplicarse para dimensionar la magnitud de este problema será la caracterización de estos sitios, a través de la caracterización del suelo en donde los residuos se han dispuesto, determinación de las concentraciones de organismos patógenos en los residuos y su viabilidad, el monitoreo de cuerpos y corrientes de agua superficiales y de pozos cercanos utilizados para diferentes usos y modelos de dispersión atmosférica. Los estudios de riesgo toxicológico serán necesarios en la población expuesta para cuantificar los daños producidos por estos contaminantes.

Como se venía expresando anteriormente para la adecuada identificación de impactos se deben buscar los indicadores óptimos que evalúen la afectación esperada en cada atributo ambiental. En el cuadro siguiente se indican algunos ejemplos que pueden ser utilizados para tal fin y que constituyen los insumos necesarios para la aplicación de cualquier técnica de evaluación de impacto ambiental sobre los efectos probables en el ambiente causados por la disposición inadecuada de residuos biológico-infecciosos en sitios inapropiados.

FACTOR AMBIENTAL	INDICADOR
Aire	Modelos de dispersión de contaminantes en el sitio.
Suelo	No. total de organismos patógenos en muestras de suelo obtenidas en el sitio de vertimiento.
Hidrología Superficial	No. total de organismos patógenos muestra de agua en diferentes puntos de muestreo representativos del patrón de drenaje (corrientes y cuerpos de agua permanentes).
Hidrología Subterránea	No. total de organismos patógenos en muestras obtenidas en pozos cercanos y de acuerdo a la dirección del flujo subterráneo.
Fauna	Análisis clínicos de fauna nociva para determinar la presencia de organismos patógenos asociados a RPBI.
Población Expuesta	Análisis clínicos de los principales virus que se transmiten a través de estos residuos.

Tales determinaciones servirán para establecer el área de influencia que se estima tendrán los contaminantes en el entorno, de acuerdo a las características previamente señaladas en cuanto a modelos de dispersión de los contaminantes en agua, aire y suelo, las cuales constituirán las fuentes primarias. Las características intrínsecas de estos receptores primarios determinarán los mecanismos de transporte de los contaminantes (transporte por migración de contaminantes, por volatilización, por adsorción en sedimentos, etc). Las rutas de exposición (vía oral, dérmica o por inhalación) dependerá de la cercanía de los receptores y sus hábitos. La población expuesta estará en función de esta área de influencia localizando asentamientos humanos que se encuentren dentro de ésta y considerando además los efectos de tercer orden que pudieran ocasionarse a través de los trabajadores directamente expuestos, ya que éstos se trasladan a otros sitios, que al tener contacto con gente ajena al sitio ocasionan efectos de tipo sinérgico.

Los estudios de caracterización de sitios contaminados tienen como principal objetivo definir las rutas críticas de exposición a contaminantes, con la finalidad de incidir en éstas para lograr eliminar el trinomio fuente-vector de transporte-receptor, lo que puede conducir a proponer eliminar el residuo o la fuente de contaminación, eliminar el vector de transporte estableciendo barreras, o eliminar el receptor, como sería el restringir el acceso al sitio. En tales estudios es factible incorporar las tres situaciones mencionadas. La primera de ellas se considera una medida definitiva de saneamiento ambiental, mientras que las otras dos son medidas de "atención inmediata" que evitarán que se sigan presentado las vías de transporte y rutas de exposición prevalecientes, en tanto se lleva a cabo la restauración definitiva del sitio

En México los estudios de esta naturaleza, son aún incipientes, siendo el reto actual el realizar las investigaciones específicas para determinar la viabilidad de los organismos patógenos en los diferentes compartimientos de los ecosistemas (aire, suelo y agua) para determinar los niveles de peligrosidad por su exposición directa. Con ello se podrá establecer las diferencias básicas entre la permanencia de estos organismos patógenos entre éstos. Así mientras un organismo patógeno puede permanecer indefinidamente en

el agua, en el suelo este mismo organismo podría sucumbir podría sucumbir en un plazo corto, ya que ello dependerá de sus requerimientos fisiológicos.

Con la breve exposición del tema se ha pretendido describir la complejidad del problema que se enfrenta por una inadecuada disposición de residuos peligrosos, especialmente los de carácter biológico-infecciosos, siendo evidente que cualquier medida correctiva que se tome para controlar o remediar sitios contaminados resultará siempre más costosa que las medidas preventivas diseñadas para evitarlos. Finalmente habrá que apuntar que una disposición inadecuada es capaz de causar daños irreversibles, como cancelación del sitio para determinados usos futuros, impactos de largo plazo en las poblaciones expuestas (como nuevos brotes de epidemias causadas por enfermedades ya erradicadas o transmisión de patógenos letales) y muerte de animales y plantas.

Procedimiento de impacto ambiental aplicable para evaluar el manejo, almacenamiento, transportación y disposición final de los residuos biológico-infecciosos

Actualmente se ha elaborado la normatividad conducente para lograr un manejo seguro de este tipo de residuos. Dicha normatividad ha sido diseñada para dar un manejo adecuado a los residuos desde el sitio de generación, durante su almacenamiento temporal, su transporte, tratamiento y disposición final de estos residuos. Dichas normas han sido adecuadamente planteadas por lo que aquí únicamente se revisará la manera en que éstas evitan o disminuyen la probabilidad de que estos contaminantes lleguen a un probable receptor.

El sistema de análisis en este caso serán la fuente de generación, que se encuentra representada por los centros de salud, clínicas y laboratorios los cuales puede desechar diversos residuos contaminados con microorganismos patógenos.

Los receptores primarios en este caso serán los trabajadores y profesionales directamente expuestos a estos contaminantes, como personal de limpieza, técnicos auxiliares, enfermeras, médicos, trabajadores de lavanderías y personal empleado en los sitios de almacenamiento temporal y de tratamiento de estos residuos. También podría considerarse a personal de funeranas o paramédicos.

Los receptores secundarios serán la población en general que entre en contacto con los directamente expuestos, haciendo una cadena de compleja magnitud.

Siguiendo este orden de ideas el primer riesgo es la segregación de estos residuos en donde deberán ser clasificados y etiquetados en diferentes envases. Las actividades efectuadas al respecto tendrán como objetivo principal separar los residuos biológico-infecciosos de los que no lo son, clasificando a estos de acuerdo a su naturaleza como ya se ha explicado en intervenciones anteriores. Ello a través de tener un contacto mínimo con estos residuos, por lo que el uso de equipo de protección se deberá tener adecuadamente contemplado. Durante su traslado a un almacenamiento temporal, y siguiendo la política de mínimo contacto con éstos, se deberá utilizar equipo de protección y estas actividades deberán estar mecanizadas. Los sitios de almacenamiento temporal tienen especificaciones apropiadas para evitar que estos residuos inicien la ruta de dispersión que se ha explicado, es decir, se estipulan especificaciones técnicas que eviten el contacto directo con el suelo natural, en sitios cerrados que eviten que estos se diseminen por el aire, en caso de ruptura de algún recipiente y con las pendientes adecuadas del terreno y bordos de contención para evitar su derrame fuera del área de almacenamiento. El transporte por igual será estipulado que sea mecanizado a través de contenedores que de manera mecánica depositen los residuos en el vehículo de transporte destinado para tal fin. Las especificaciones de señalamientos de tales vehículos indicando la naturaleza de las sustancias que transportan, indicaciones de manejo y rutas a seguir durante el transporte también deberán ser considerados. La capacitación de los choferes autorizados está estipulado, donde queda expresamente acotado que en dicho transporte no podrá viajar nadie ajeno a la actividad. La entrega-recepción a los sitios de tratamiento y el manejo in-situ de estos residuos dentro de las plantas tratadoras deben estar claramente definidas, como rutas de circulación, actividades mecanizadas, equipo de protección, control adecuado de los procesos, entre otros múltiples factores que se irán detallando en intervenciones siguientes.

Lo aquí indicado sirve únicamente para ejemplificar que existen los procedimientos para evitar el contacto directo con esos contaminantes, que existen también las tecnologías adecuadas para su eliminación total o la eliminación de su peligrosidad y que se han

diseñado las especificaciones técnicas para los sitios de disposición final, los cuales finalmente toman en consideración todas las variables ambientales que se han venido aquí analizando, es decir, están elaborados para lograr contar con sitios donde existan las características de hermeticidad o nulo contacto con el ambiente.

Con estas bases un estudio de impacto ambiental tiene como principal objetivo identificar si en un proyecto en particular que incluya el manejo, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final han incorporado en todas y cada una de sus actividades los lineamientos normativos elaborados para evitar el contacto directo o probable dispersión en el ambiente de estos contaminantes. De existir omisiones por desconocimiento o negligencia por parte del promovente de estas actividades puede denversé la recomendación de un estudio de riesgo, en donde se evaluará principalmente el asociado a la salud humana, tanto de los trabajadores como de la población en general.

Con la finalidad de efectuar una evaluación sistemática que permita incluir cada una de las actividades que potencialmente puedan generar impactos al ambiente o la salud, se puede utilizar un listado de verificación o una matriz de interacción donde, como ya se ha expuesto, quedan en relieve todas las interacciones probables entre la actividad a realizar y los principales elementos ambientales que serán afectados. Con todas las probables interacciones identificadas se determinará algún indicador que de cuenta de los efectos de cambio que se esperan. Por ejemplo, si se determina que existe un probable riesgo laboral del personal en el proceso de recolección de residuos biológico-infecciosos, al no tener previsto la utilización de equipo de protección, se requerirá buscar estadísticas que indiquen para personal que labora actualmente en actividades similares, el número de incapacidades registradas que pudieran asociarse al contacto con residuos biológico-infecciosos. En la medida en que pueda tenerse un mayor número de indicadores, la evaluación de impacto ambiental podrá hacerse de manera más objetiva. De no conatrsé con la información requerida para un impacto identificado, se opta por magnificar el problema, es decir, se determinará una significancia alta cuando existe incertidumbre en los efectos reales, y se recomendará apearse a la normatividad existente en la materia.

A continuación se proporciona algunas medidas preventivas para evitar impactos al ambiente y a la salud durante el manejo de estos residuos, que no son más que las

propias recomendaciones vertidas en la reglamentación durante el manejo de estos residuos:

**Sitio de
Generación**

1. Segregación ,clasificación, envasado y etiquetado de los residuos.
2. Utilización de equipo protección.
3. Definición de rutas internas para transporte de estos residuos.
4. Señalización.
5. Manual de procedimiento de seguridad para el manejo interno de los RPBI.
6. Monitoreos clínicos periodicos al personal.
7. Aplicación de vacunas.
8. Plan de atención a emergencias.
9. Programa de higiene laboral.

Almacenamiento Temporal

1. Atender los periodos de almacenamientos indicados en la normatividad vigente de acuerdo a la naturaleza del residuo.
2. Los residuos deberán estar envasados e identificados en esta área.
3. Áreas separadas de las de mayor concentración de empleados y pacientes.
4. Especificaciones de construcción que eviten que estos residuos, se pongan en contacto con el ambiente (suelo natural, agua o aire).
5. Acceso restringido.
6. Ubicación de fácil acceso.

Transporte

1. Sistemas de carga y descarga mecanizados.
2. Personal capacitado con equipo de protección adecuado.
3. Se transportarán sólo residuos debidamente separados y envasados de acuerdo a la normatividad vigente.
4. Las unidades deberán contar con todas las especificaciones emitidas por la SCT para este tipo de vehículos.
5. Rutas de traslado en buen estado y horarios de baja circulación vehicular.

Tratamiento

1. Instalaciones en donde se llevan a cabo diversos métodos físicos y químicos que buscan eliminar la bioactividad del residuo en condiciones óptimas de operación que eviten que estas puedan convertirse en focos de infección.
2. Control de emisiones a la atmósfera.
3. Pruebas de tratabilidad de los residuos líquidos y sólidos.
4. Análisis CRETIB del residuo tratado.

Disposición Final

1. Confinamiento controlado, con características de hermeticidad que permitan asegurar que no habrá interacción de los residuos con el ambiente (agua, aire, suelo).

De primordial importancia para abordar cualquier programa de control de las situaciones de riesgo derivadas del manejo inadecuado de los residuos sólidos de hospitales, es el caracterizar cualitativa y cuantitativamente el problema

Ello permitirá dimensionar los espacios físicos necesarios para manejar los diferentes tipos de desechos, decidir acertadamente acerca de qué alternativas técnicas utilizar para el tratamiento de cada una de las fracciones componentes y seleccionar los equipos y dispositivos más convenientes para tal propósito

2.0 PROBLEMÁTICA DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS MÉDICOS

En la mayoría de los países, la principal preocupación respecto al manejo de los residuos infecciosos en los centros de salud reside en la transmisión del agente que produce el SIDA y con mayor frecuencia del virus de la hepatitis B o C (VHB) a través de lesiones causadas por agujas contaminadas con sangre humana.

Los grupos más expuestos a estos riesgos son los trabajadores de los establecimientos de salud, en especial enfermeros y personal de limpieza, seguido de los trabajadores que manipulan estos residuos fuera del hospital. Ciertos países cuentan con estadísticas relativas a la frecuencia de lesiones con residuos hospitalarios, a título de ejemplo:

- ✓ En los *Estados Unidos* el índice de lesiones para el personal de enfermería, limpieza y mantenimiento oscila entre 10 y 20 por 1,000 trabajadores, y de todos los trabajadores que pueden estar en contacto con residuos médicos, los recolectores de basura son los que tienen el índice más alto de lesiones laborales, alcanzando 180 por 1,000 trabajadores al año, es decir más del doble que en toda la fuerza laboral combinada de los Estados Unidos.
- ✓ En *Japón*, una encuesta realizada en 1986 por la autoridades de salud reveló que el 67% de los que manejan residuos dentro de los hospitales habían reportado lesiones con objetos punzocortantes y que el 44% de los que manejan residuos fuera del hospital también habían reportado lesiones al manejar estos residuos

El profesor Shira Shirato, director de la Sociedad Japonesa para la Investigación de Residuos Hospitalarios ha encontrado en la literatura japonesa más de 500 casos de infecciones relacionadas con residuos hospitalarios e igual número de casos de lesiones o envenenamientos con residuos químicos de hospitales. El profesor Shira Shirato sostiene que el tiempo de sobrevivencia del virus del SIDA en la jeringa infectada parece ser mayor a lo supuesto hasta

EL CONTROL DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS TENDENCIAS ACTUALES

Dra. Claire van Ruymbeke

1.0 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los residuos infecciosos generados en establecimientos de salud constituyen una de las principales preocupaciones de organismos internacionales de colaboración y asistencia en aspectos de salud pública, como la Organización Panamericana de la Salud, independientemente de que muchos países de América Latina, entre ellos México, consideran su control como una política altamente prioritaria.

Los residuos sólidos generados en hospitales y establecimientos de salud presentan riesgos y dificultades especiales en su manejo debido, fundamentalmente, al carácter infeccioso de algunas de sus fracciones componentes. Contribuyen también a acrecentar tales riesgos y dificultades la heterogeneidad de su composición, la presencia frecuentemente de objetos cortopunzantes y la presencia eventual de cantidades menores de sustancias tóxicas, inflamables y radiactivas de baja intensidad. No obstante lo anterior, la mayor parte de los residuos que produce un hospital no ofrece mayores peligros que los asociados a los residuos municipales comunes.

Los riesgos arriba mencionados involucran, en primer término, al personal que debe manejar los residuos sólidos tanto dentro como fuera del establecimiento, personal que, de no contar con suficiente capacitación y entrenamiento o de carecer de facilidades e instalaciones apropiadas para el manejo y tratamiento de los residuos, de equipo y herramientas de trabajo o de elementos de protección personal adecuados, puede verse expuesto contacto directo con gérmenes patógenos o a la acción de objetos cortopunzantes, tales como agujas de jeringas, trozos de vidrio u hojas de rasurar.

Finalmente cabe destacar, que el manejo deficiente de los residuos sólidos de hospitales no solo puede crear situaciones de riesgo que amenacen la salud de la población hospitalaria -personal y pacientes-, sino también puede ser causa de situaciones de deterioro ambiental que trasciendan los límites del recinto hospitalario, generando molestias y pérdida de bienestar a la población aledaña al establecimiento y sometiendo a riesgo la salud de aquellos sectores de la comunidad que, directa o indirectamente, lleguen a verse expuestos al contacto con material infeccioso o contaminado, cuando los residuos son trasladados fuera del hospital para su tratamiento o disposición final.

ahora. También ha reportado el caso de niños infectados al jugar con jeringas que habían desenterradas de un basurero de un hospital

Aunque no se cuente con información sobre las estadísticas ni información sobre la incidencia de infecciones, en los lugares donde es común que personas recogen materiales en los basureros para vender y reciclarlo, el riesgo es serio.

- ✓ En Brasil hubo casos fatales y serios de radiación ocasionados por residuos radiactivos de hospitales que se encontraban en equipo abandonado que fue enviado a un basurero
- ✓ En América Latina se observaron casos en los cuales se vendían jeringas usadas con dulce a niños escolares
- ✓ En ciertos países de África central existe la creencia de que para curarse se necesita una inyección. La gente de pocos recursos podría tener acceso a jeringas usadas.
- ✓ Las personas adictas a la droga utilizan en muchos casos jeringas usadas
- ✓ Se ha observado la venta de medicamentos caducos o contaminados.

Aunque no existe información fidedigna, existe la fuerte sospecha de que la disposición no controlada de aguas usada de hospitales rurales en Chile y Perú han contribuido a la propagación del cólera

La Organización Panamericana de la Salud recomienda en un documento intitulado "Consideraciones sobre el manejo de residuos hospitalarios en América Latina" de J. Montreal (1991), identifica los siguiente problemas

- ✓ Las lesiones infecciosas provocadas por objetos punzocortantes del personal de limpieza y del que maneja los residuos sólidos en los hospitales
- ✓ Las infecciones de los pacientes debido al manejo deficiente de desechos dentro de los hospitales entre otras causas
- ✓ Los riesgos de infección fuera de los hospitales para el personal que maneja los residuos sólidos, los que recuperan materiales de la basura y, eventualmente, el público en general.

3.0 POLÍTICAS Y PROGRAMAS

Durante los últimos años se instrumentaron políticas y programas para el control de los residuos generados en establecimientos de salud, como una respuesta a la creciente toma de conciencia de la población.

Durante la **Conferencia de la Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD)**, celebrada en 1992, se definió el programa de acción (Agenda 21) que refleja la necesidad reconocida por los gobiernos de las Américas de reformular sus políticas y programa de desarrollo para satisfacer con equidad las necesidades humanas crecientes manteniendo un equilibrio ecológico en la naturaleza y estableciendo ecosistemas sociales saludables. El alcance de este programa toma en cuenta tanto los factores sociales y políticos como el deterioro de los recursos naturales, incluyendo los de carácter básico como el aire, agua y la tierra. Cabe mencionar que las áreas programáticas prioritarias de capítulo 6 de la Agenda 21 "**Protección y fomento de la salud humana**" presentan interacciones con las metas prioritarias de salud y elementos ambientales, como por ejemplo el tema de manejo de los residuos peligrosos con la reducción de riesgos para la salud.

En 1989, la **Comisión Europea** propone al Consejo de Ministros y al Parlamento Europeo una estrategia para el manejo de los residuos, cuya propuesta que es aceptada por el Consejo de Ministros del Ambiente. Como parte de esta estrategia, se forma el Grupo del Proyecto de Residuos generados en Establecimientos de Salud que terminó en 1993 las reuniones de concertación y publicó el documento de estrategia dirigido a la Comisión Europea, reportando:

- ✓ Consideraciones sobre el riesgo asociado con el manejo de los residuos médicos
- ✓ Definiciones de los residuos generados en centro de salud que presentan un riesgo
- ✓ Recomendaciones sobre el manejo de estos residuos, tomando en cuenta la presión de la opinión pública que percibe los riesgos asociados

Los siguientes párrafos reportan parte de las conclusiones del grupo de trabajo de la Comunidad Europea del Proyecto de Residuos generados en Establecimientos de Salud.

Existe una inquietud generalizada del público respecto a los residuos infecciosos generados en establecimientos de salud, sin embargo que los riesgos inherentes a estos residuos no son bien comprendidos. El grupo de trabajo de la CE considera el riesgo en el sentido común del término cuando se refiere a la **probabilidad de un evento futuro negativo**

Las probabilidades y por ende los riesgos pueden ser considerados reales o percibidos. La probabilidad real de que un evento ocurra depende del número de observaciones de esta ocurrencia en un número suficiente de eventos similares. La probabilidad percibida es un juicio subjetivo relativo al pasado y futuro.

Ciertos eventos, como las consecuencias de una lesión con aguja, incluye ambos riesgos, real y percibido. La persona lesionada percibe el evento a través de su temor de contraer alguna enfermedad; la enfermedad puede de hecho ocurrir.

El público no especialista relaciona la probabilidad percibida con su juicio: resulta su temor excesivo de morir en un accidente de avión y su temor insuficiente de lesiones graves ocasionadas en un accidente de carretera.

Riesgo percibido

El público en general percibe los residuos infecciosos generados en establecimientos de salud como residuos peligrosos, en especial las jeringas, agujas, bolsas de sangre, catéter, consumibles de diálisis, así como los medicamentos y envases que contuvieron medicamentos.

El público en general también percibe que el tratamiento de residuos infecciosos presenta riesgos para la salud y el ambiente. Su percepción del riesgo para el ambiente está compartida por los trabajadores de la salud y profesionales del ambiente.

Los trabajadores de la salud perciben los riesgos para la salud de manera más enfocada: temen las lesiones con agujas y el contacto con material que contiene patógenos. El profesionalista en materia ambiental coincide con esta percepción pero también considera que el riesgo para los operadores en la disposición de los residuos aumenta con la manera de llevar a cabo la disposición así como con las características de los residuos médicos.

Riesgo real

Estudios científicos aislados han medido los riesgos asociados con el manejo de los residuos generados en establecimientos de salud. Los Estados Unidos han realizado estudios para determinar la probabilidad, para los empleados del sector salud, de contraer una infección con el virus del VIH o del hepatitis, después de padecer una lesión con objeto punzocortante.

A la fecha no se tienen estudios que determinen las probabilidades de los riesgos asociados con la mala disposición de los residuos médicos en tiraderos.

Cabe aclarar que el estudio realizado se refiere a los países de la comunidad europea, y no hacer mención de los hábitos en numerosos países relacionados con la recolección y reuso de materiales médicos como jeringas y medicamentos presentan un riesgo real aun que no cuantificado por falta de estudios.

Aunque concluyó la misión primera del grupo, ciertos de sus miembro proponen integrarse en el futuro a los trabajos desarrollados conjuntamente con asociaciones de profesionales, como con la ISWA.

La **ISWA** (International Solid Waste Association), formada en 1970 cuya misión es "promover y desarrollar el manejo profesional de los residuos sólidos en el mundo entero" acaba de crear en 22 de marzo de 1996 el "**grupo de trabajo sobre residuos de la atención a la salud**" con la misión siguiente:

- ✓ Promover en todo el mundo, el proyecto integral de infraestructura para el manejo de los residuos de la atención a la salud, en el marco de las actividades, planes y metas de implementación establecidas por el Agenda 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente y el Desarrollo

Acorde con el plan de acciones desarrollado en el Agenda 21, en **México**, las autoridades federales de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología ha definido el marco regulatorio que estableciera el manejo y control adecuado de los residuos peligrosos biológico-infecciosos

En principio los residuos peligrosos biológico-infecciosos fueron definidos como peligrosos, para quedar reglamentados dentro del marco de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y posteriormente, en base a la Ley Federal de Metrología y Normalización, se elaboró la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL/1995, que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que prestan atención médica, la cual fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de noviembre de 1995 y entró en vigor el 7 de agosto de 1996

La Norma mencionada anteriormente contiene diferentes aspectos importantes, desde el punto de vista institucional, en el manejo interno de los residuos generados en las instalaciones de salud, al momento de establecer la identificación de éstos y las actividades que los generan, así como sus características y los recipientes que los van a contener

4.0 MANEJO Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS MÉDICOS

El manejo y tratamiento de los residuos médicos debe incluir los siguientes tópicos: segregación, envasado e identificación, almacenamiento, manejo, transporte, tratamiento y disposición y capacitación.

Manejo de los residuos

La segregación es un paso esencial y permite reducir la cantidad de residuos que requieren de un tratamiento específico y en consecuencia de los recursos necesarios para su eliminación. La segregación

de los residuos generalmente está realizadas a la fuente, con base en el tipo de material. También puede segregarse con base en el riesgo asociado a estos residuos. El envasado e identificación de los residuos reduce los riesgos en el manejo de los mismos. Para el manejo de los residuos médicos se requieren establecer procedimientos claros para los trabajadores que deben recolectar, transportar, tratar y disponerlos para asegurar la seguridad de los mismos.

Cabe hacer énfasis en la necesidad de capacitar con frecuencia toda persona que maneja residuos generados en centros de salud, y garantizar así un manejo seguro de los mismos.

Dstrucción térmica de los residuos

La incineración de los residuos médicos es a la fecha el sistema de tratamiento más común en los países desarrollados.

Tradicionalmente los hospitales contaban con incineradores exclusivamente dedicados a residuos patológicos, que de hecho eran pequeñas unidades de desecación bajo condiciones de exceso de aire. Cuando a fines de los años 60's, se inició la incineración de residuos biológico infecciosos conjuntamente con residuos patológicos, algunos hospitales instalaron equipos de mayor capacidad que operaban también bajo condiciones de aire en exceso y flujo de gases de combustión elevados. Estas condiciones de operación fomentan una gran emisión de partículas debido al arrastre de ceniza.

Cuando las normas en diferentes países impusieron límites de emisiones de partículas y opacidad, se instalaron en muchos incineradores sistemas de lavado de gases (scrubber) húmedos o secos para el control de las emisiones. Desafortunadamente este enfoque generó problemas de operación y de mantenimiento, por lo que los fabricantes desarrollaron incineradores con control de aire.

El incinerador con control del aire opera bajo el siguiente principio:

- ✓ Cámara primaria, en la cual la combustión se realiza en condiciones sub-estequiométricas.
- ✓ Cámara secundaria, en la cual la combustión se realiza en condiciones de exceso de aire (100 - 200 por ciento en exceso). La principal ventaja de esta característica es que, en condiciones de sub-estequiometría en la cámara primaria de combustión, el flujo de gases de combustión es menor y por ende las velocidades. Por ser menor la velocidad de los gases de combustión, se minimiza el arrastre de cenizas y partículas y los incineradores cumplen con los límites de emisión sin requerir equipo de tratamiento de gases de combustión. Este tipo de incinerador con control de aire, está en operación desde hace 15 a 20 años.

Hace 10 años, las agencias gubernamentales promovieron normas más estrictas para incineradores de hospitales con los dos enfoques siguientes:

- ✓ Mejorar la eficiencia de combustión para eliminar la emisión de organismos patógenos y de compuestos orgánicos
- ✓ Disminuir la emisión de partículas y controlar otros contaminantes como el ácido clorhídrico (HCl)

Desgraciadamente muchos incineradores con control de aire, no pudieron cumplir con estas especificaciones más estrictas, obligando a los fabricantes a modificar el diseño de los mismos y buscar soluciones integrales

En el pasado los criterios de combustión de los residuos médicos estaban directamente basados en el control de las partículas, opacidad y olor. Actualmente, las nuevas reglamentaciones tienen además como meta controlar los compuestos orgánicos y los productos de una combustión incompleta. Las nuevas reglamentaciones incluyen requerimiento de eficiencia de combustión, eficiencia de destrucción, temperaturas mínimas y tiempo de retención en las cámaras de combustión.

Desinfección de los residuos

La desinfección de los residuos puede efectuarse mediante un proceso químico, un tratamiento térmico o por irradiación. Si la desinfección es confiable los residuos médicos desinfectados podrán manipularse como si fueran residuos sólidos domésticos. La desinfección no puede asimilarse a la esterilización por lo tanto la OMS recomienda no reutilizar el material desinfectado y no utilizar este sistema para los residuos generados en áreas de aislamiento

5.0 EJEMPLOS DE SITUACIONES EN PAÍSES DESARROLLADOS

Estados Unidos

En los Estados Unidos la mayoría de los residuos hospitalarios son incinerados. Existe según un inventario realizado por la USEPA, aproximadamente 2.600 incineradores de residuos hospitalarios (MWI) en operación

A la fecha los incineradores de residuos hospitalarios (MWI) están reglamentados a nivel estatal o local, con estándares y lineamientos que varían mucho en sus formas y alcances. En una revisión realizada por la EPA en 1991, se determinó que 38 estados habían implementado reglamentaciones, permisos o

lineamientos específicos para los MWI. Los demás estados incluyen los MWI's la misma categoría que los incineradores en general, cuyos estándares son menos estrictos que los existentes para MWI's.

De manera común los requerimientos estatales para MWI's se limitan a partículas, HCl, temperatura de la cámara secundaria y tiempo de residencia. Ciertos estados norman metales, CDD/CDF y CO. Sólo una tercera parte de los estados requieren la capacitación del operador. Ciertos estados incluyendo Nueva York, California y Texas han adoptado en los años 90's reglamentaciones relativamente estrictas para limitar las emisiones de MWI.

El 27 de febrero de 1995 la EPA publica un anteproyecto que define los estándares para nuevas fuentes estacionarias y lineamientos de emisiones para instalaciones existentes relativas a incineradores de residuos hospitalarios.

El 20 de junio de 1996 la EPA publica información complementaria al anteproyecto de norma, revisando datos básicos de población de incineradores, emisiones y impacto de los costos de implementación de la norma y realizó un estudio del impacto que tendría la entrada en vigor de esta norma. En este estudio estima que el 80% de los MWI's en operación no cumplirá con estos límites por lo que los propietarios tendrán que instalar equipos de control.

El costo de instalación es elevado y la EPA estima que los generadores buscarán soluciones alternativas consistentes en enviar sus residuos a tratar en centros externos o tratamientos *in-situ* con otras técnicas como autoclave, microondas o desinfección química.

Este escenario se observó cuando el estado de Nueva York requirió la instalación de lavadores de gases ácidos, y como consecuencia el 90% de los MWI's instalados cesaron de operar.

Situación en Francia

El 19 de julio de 1976 se publicó la ley 76-663, relativa a la organización y control de las instalaciones industriales que son potencialmente contaminantes, mismas que reciben el calificativo de "instalaciones clasificadas" para la protección del ambiente. Las instalaciones de eliminación de desechos son catalogadas como "instalaciones clasificadas", de acuerdo con esta ley.

En Francia casi la totalidad de los residuos hospitalarios son incinerados y se lleva a cabo en las tres situaciones siguientes:

In situ

En este caso el horno de incineración está reservado al uso de un establecimiento de salud e instalado en sus instalaciones. Esta solución de tratamiento está "tolerada" dado que la mayoría de las instalaciones de incineración *in situ* en operación no cuenta con las autorizaciones correspondientes (más del 80%) y se estima no cumplirá con las normas futuras

La utilización de estos equipos instalados en el sitio de generación de los residuos hospitalarios tiene la ventaja de una gran autonomía de funcionamiento sin transporte hacia el exterior. Por lo general estos hornos son pequeños y, aunque que a la fecha de su instalación fueron considerados como un avance en la eliminación de los desechos contaminados, actualmente en la mayoría de los casos no son adaptados para cumplir con los límites de emisión cada día más severas, por la heterogeneidad de los desechos generados en centros de salud (y por lo tanto la variabilidad de su poder calorífico), por su antigüedad (diseño obsoleto), funcionamiento intermitente, temperaturas demasiado bajas, ausencia de tratamiento de gases, mantenimiento insuficiente, etc.

A partir de 1991, los incineradores *in situ* salen de operación progresivamente. Algunos serán regularizados y otros serán posiblemente instalados, únicamente para responder a ciertas necesidades locales específicas.

En instalación central especializada

Se trata de una instalación dedicada exclusivamente al tratamiento de los residuos hospitalarios, ubicada en un sitio industrial o de una unidad de tratamiento de desechos industriales que utiliza su capacidad disponible para incinerar residuos hospitalarios. Los equipos utilizados son generalmente de tamaño mediano y equipados de sistemas de tratamiento de gases. Presentan la ventaja de un mejor control de las condiciones de operación

En instalación de incineración de residuos sólidos municipales

Estos hornos tienen como vocación principal la incineración de residuos sólidos urbanos, sin embargo, si cumplen con los requisitos para la incineración de residuos contaminados, pueden ser utilizados para la incineración de los residuos hospitalarios

Estas instalaciones son por lo general de gran tamaño y equipados de sistemas de tratamiento de gases. Presentan la ventaja de un mejor control de las condiciones de operación. Cabe mencionar que cada día un mayor número de estas instalaciones son también utilizadas para recuperar la energía generada por la combustión de los residuos.

6.0 CONCLUSIONES

A pesar de que los residuos hospitalarios, han sido clasificados de diversas formas según sean los criterios de peligrosidad adoptados por diferentes países en el mundo; desde residuos municipales bajo control especial como en el caso de Japón, hasta residuos peligrosos como en México, es evidente que representan un riesgo de afectación a la salud de la población en general, cuando se manejan empleando técnicas inadecuadas. De hecho, los residuos hospitalarios contienen residuos biológico infecciosos, residuos peligrosos y residuos no peligrosos. La preocupación que desde hace tiempo se ha manifestado en todo el mundo, sobre este residuo, radica fundamentalmente en sus características de patogenicidad.

Por otro lado, se debe reconocer la realidad con relación a los microorganismos patógenos, que establecen las siguientes consideraciones:

- ✓ Las bacterias patógenas presentes en los residuos, no pueden ser generados por la manipulación inadecuada de ellos.
- ✓ La cantidad de materia orgánica presente en los residuos, propicia la proliferación de los microorganismos patógenos.
- ✓ Los largos tiempos de transporte entre la fuente generadora y los sistemas de tratamiento y/o disposición final, nos los tiempos de almacenamiento, aumentan la posibilidad de proliferación de los microorganismos patógenos.
- ✓ La frecuencia de cierto tipo de bacterias, puede estar relacionada con el tipo de fuente generadora o por el tipo de residuo.
- ✓ Una gran cantidad de microorganismos de origen humano, presentes en los residuos, sugiere la presencia de bacterias virulentas y de alta patogenicidad.
- ✓ La necesidad de contar con inventario de todos los generadores de residuos hospitalarios, cuantificar la generación de residuos hospitalarios, en peso, volumen, unidad básica, metros cuadrados o por actividad; de acuerdo a la clasificación que exista.
- ✓ Definir normas técnicas regulatorias y/o manuales para obtener las prácticas para un buen manejo de estos residuos.
- ✓ Evaluar la situación actual de manejo de los servicios.
- ✓ Evaluar las técnicas posibles para el control de estos residuos, técnica, política social, ambiental y económicamente.
- ✓ Generar planes o programas rectores a nivel federal, estatal o local todos ellos coordinados, para el control de estos residuos.