



La Toxicología Ambiental y La Salud Pública

12 julio 2016

VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

EXMO. SR. PRESIDENTE DE LA ACADEMIA,
ILMAS. SRAS. ACADÉMICAS,
ILMOS. SRES. ACADÉMICOS,
ILMO SR. DECANO DE LA FACULTAD DE BIOLOGÍA,
ILMA. SRA. PRESIDENTA DEL COLEGIO OFICIAL DE
MEDICOS

ESTIMADOS COLEGAS,
SEÑORAS Y SEÑORES

Constituye un gran honor pronunciar mi discurso de recepción como Académico Correspondiente de esta Real Academia de Medicina, por lo que significa el haber sido elegido por los miembros de una Institución de tan alto prestigio social y científico. En especial deseo agradecer al Dr. Agustín Llopis González el haberme propuesto a la Junta de Gobierno para esta distinción.

Voy a iniciar la lectura de mi disertación que lleva por título:

La Toxicología Ambiental y La Salud Pública

con un fragmento de la carta del Cacique Indio de la región noroeste de Estados Unidos (Seattle) al Presidente de esa nación en 1855

Cita:

"NO HEREDAMOS LA TIERRA DE NUESTROS ANCESTROS... LA TOMAMOS EN PRÉSTAMO DE NUESTROS HIJOS

...Lo que ocurra con la tierra, recaerá sobre los hijos de la tierra. Hay una unión en todo... Esto es lo que sabemos: la tierra no pertenece al hombre, es el hombre el que pertenece a la tierra. Todas las cosas están relacionadas como la sangre que une una familia. Hay una unión en todo... El hombre no tejió el tejido de la vida, él es simplemente uno de sus hilos. Todo lo que hiciere al tejido, lo hará a sí mismo... Dónde están los árboles? Desaparecieron. Dónde está el águila? Desapareció. Es el final de la vida y el inicio de la supervivencia".

Fin de la cita

Esta disertación está estructurada en cinco apartados:

- 1.- Introducción
- 2.-La dosis y la respuesta
- 3.-La evaluación de los riesgos ambientales
- 4.- La restauración ambiental y sus métodos
- 5.- La prevención de la contaminación

1.- Introducción

La Toxicología estudia los mecanismos de ingreso, transformación y excreción de los tóxicos, así como los mecanismos a nivel molecular y celular de los procesos de producción de daños y de desintoxicación.

Aunque también las sustancias que son constituyentes de nuestro organismo pueden ser tóxicas a concentraciones superiores a las fisiológicas, solemos referirnos a los tóxicos como **xenobióticos** o compuestos extraños que proceden del exterior.

La toxicología moderna, como hoy se entiende, comenzó hacia 1850 con la explosión de la ciencia, el desarrollo de anestésicos, desinfectantes y otras sustancias químicas y se ha desarrollado de manera exponencial en los últimos 30-50 años.

Actualmente agrupa tres áreas de trabajo:

La Descriptiva: Trata de los ensayos de toxicidad que proporcionan información para evaluar riesgos.

La Mecanística: Consiste en la identificación y conocimiento de los mecanismos moleculares por los que un tóxico ejerce su acción sobre un organismo vivo.

La Regulatoria: Decide si una sustancia posee un riesgo lo suficientemente bajo para permitir su uso o comercialización.

Por otro lado, **La toxicología ambiental** estudia los daños causados al organismo por la exposición a los tóxicos que se encuentran en el medio ambiente.

Su objetivo principal es evaluar los impactos que producen en la salud pública la exposición de la población humana a los tóxicos ambientales presentes en un sitio contaminado. Es conveniente recalcar que se estudian los efectos sobre los humanos, aunque pudieran existir, en el sitio de estudio, otros organismos diana de los tóxicos tales como microorganismos, plantas o animales.

Día a día el mundo se enfrenta a la necesidad de crear una conciencia del medio ambiente. Las actividades industriales que se han vuelto necesarias para la vida moderna en los países desarrollados han generado una serie de peligros ambientales. Los países en desarrollo, al modernizarse han generado el mismo tipo de problemas, quizá más agudos debido a la falta de recursos económicos, científicos, tecnológicos y humanos que los enfrenten.

Para que la población pueda vivir y desarrollarse en un ambiente sano, los peligros deben ser prevenidos en sus orígenes o restaurar los daños ya producidos. Afortunadamente se cuenta con los conocimientos para realizar la mayor parte de estas tareas.

Los problemas ambientales se suelen discutir en el seno de la sociedad, sin separar los problemas reales de los que están sustentados solo en informaciones anecdóticas no comprobadas. Desafortunadamente, con frecuencia, se difunden en los medios de comunicación masiva los problemas ambientales en forma distorsionada, desacreditando las preocupaciones y esfuerzos legítimos de la comunidad. Es necesario que los actores sociales, incluyendo las autoridades, dispongan de métodos científicos

para discriminar entre los dos extremos y poder actuar en forma responsable al tratar esta importante problemática.

Si bien se puede encontrar abundante información científica sobre los peligros que corre el hombre al vivir en un medio deteriorado por la contaminación, muchas veces además de no estar reunida tal información, ésta se dirige solamente a especialistas en toxicología y a profesionales en otras ramas de las ciencias de la salud. Sin embargo, los miembros de la sociedad interesados en los problemas acarreados por la contaminación y en la restauración del medio ambiente, en general tienen otra formación académica.

En la Toxicología Ambiental es importante conocer la Ruta de Exposición. Es decir, el camino que sigue un agente químico en el medio ambiente desde el lugar donde se emite hasta que llega a establecer contacto con la población o el individuo expuesto.

De igual forma, la vía de exposición es fundamental para el propósito de la Toxicología Ambiental. Se consideran de importancia la ingestión, la respiración y el contacto cutáneo. Sin embargo, las vías de ingreso clínicas, tales como la intravenosa, la intraperitoneal, la intramuscular y la subcutánea no se suelen considerar.

Por otro lado, “**el riesgo**” describe la probabilidad de que, en una situación dada, una sustancia peligrosa produzca un daño. Para estimar el riesgo es necesario conocer su toxicidad, la cantidad de tóxico que entra en contacto con el organismo o población en estudio y las condiciones en las que se da este contacto. **La Evaluación del Riesgo** consiste en determinar si es tolerable el riesgo que enfrenta una

población por estar expuesto a tóxicos en el ambiente de un sitio contaminado.

La determinación y caracterización de los riesgos para la salud pública en un lugar determinado se lleva a cabo en cuatro pasos:

El análisis de los datos.

La evaluación de la Exposición.

La evaluación de la toxicidad.

La caracterización de los riesgos.

El análisis de los datos. El objetivo de esta fase es identificar la información de buena calidad que existe sobre el lugar para, así, determinar la información que se necesita generar o captar para hacer la Evaluación de Riesgo. En esta primera etapa se hace la selección preliminar de la lista de los tóxicos sobre los que se hará dicha evaluación .

En la evaluación de la Exposición. Se hace una estimación de la magnitud actual y futura de las exposiciones humanas, de la frecuencia y duración de estas exposiciones y de las rutas y vías potenciales de exposición.

La evaluación de la toxicidad. Consiste en obtener la información cualitativa y cuantitativa sobre los distintos tipos de efectos adversos a la salud (cáncer, no-cáncer, efectos sobre el desarrollo, etc.) que producen las sustancias, a las que se ha determinado que la población está expuesta o pudiera llegar a estar expuesta. En esta etapa se localiza la mejor información disponible sobre la magnitud de la respuesta tóxica como una función del nivel de exposición.

Para la caracterización de los riesgos. Al conocer la magnitud de las exposiciones que se han determinado como posibles, así como la toxicidad de las sustancias involucradas, se estiman los riesgos para la salud a los que se enfrentan las diferentes poblaciones. Se evalúan los producidos por cada tóxico independientemente de que llegue a los individuos expuestos por una o por varias rutas. Se evalúan, también, los riesgos que representan las exposiciones a las mezclas de las distintas sustancias presentes.

La evaluación de los riesgos presentes o futuros que se pueden presentar en un lugar antes de que se haya hecho intento alguno para controlar o reducir las exposiciones se le conoce como **Evaluación de Riesgos de Línea Base** o **Evaluación de Riesgos Potenciales**.

Si la Evaluación de Riesgos Potenciales en un ambiente determinado caracteriza los riesgos existentes como **no tolerables**, entonces se tiene que intervenir para reducir los niveles de los tóxicos hasta el punto de que no signifiquen peligro para la salud pública. A este proceso de limpieza ambiental se le da el nombre de **restauración** o el de **corrección ambiental**.

La restauración ambiental y la corrección tienen como propósito eliminar, reducir o controlar los riesgos para la salud humana y para el medio ambiente en lugares contaminados.

Para proteger la salud humana, la restauración, debe reducir la concentración de los contaminantes por debajo de los

niveles normativos, a costes aceptables y, además, la solución debe de ser permanente.

La evaluación de riesgos también se usa para diseñar estrategias de prevención de riesgos para la salud humana. En este caso, se determina la cantidad permisible de contaminantes en los medios ambientales que entran en contacto con las poblaciones y, mediante el uso de modelos de transporte, se estima cuáles son las concentraciones de los tóxicos que serían permisibles en el punto de emisión. Con esta información, se establecen los límites de concentraciones en la fuente, que no se deben exceder, para que la población posiblemente receptora no esté expuesta a un peligro intolerable. Este dato es una restricción a considerar en el diseño del proceso.

Cuando se está trabajando en el diseño de procesos o de productos que no han presentado todavía un problema de contaminación, es necesario simularla. Se necesita predecir la toxicidad y el comportamiento de los desechos en el medio ambiente. Asimismo, simular el transporte y destino de las sustancias, estimando cuál podría ser la permanencia de estos desechos en el ambiente, a qué medios podría emigrar y los peligros potenciales que significarían estas sustancias para las poblaciones que los pudieran contactar. Orientar los esfuerzos para evitar la contaminación es, por sentido común, más conveniente que esperar a que ésta se produzca y entonces tratar de eliminarla.

Cuando un tóxico llega al organismo, dependiendo de la vía de exposición, entra en contacto con las superficies epiteliales del tracto digestivo, del aparato respiratorio o de la piel. Una vez que atraviesa esas membranas y alcanza el

torrente sanguíneo, se considera que el tóxico ha penetrado en el organismo.

La cantidad de tóxico que penetra puede ser muy diferente de la cantidad inhalada o ingerida, debido a que la sustancia no siempre está 100% **biodisponible**. Por ejemplo, el arsénico ingerido en el agua se absorbe casi totalmente, pero se absorbe mucho menos si el vehículo de ingreso es el suelo. El arsénico no está igualmente disponible cuando está adsorbido a las partículas de suelo que cuando está disuelto en el agua.

Para estudiar el transporte, modificaciones y destino de los tóxicos dentro del organismo es necesario determinar la concentración de las especies químicas que producen los daños, así como medir la magnitud de los mismos.

Las sustancias que llegan a las superficies de contacto del organismo con el medio ambiente lo penetran a velocidades diferentes, dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas y de las condiciones que existan en la superficie de contacto, tales como, el área de contacto, la permeabilidad de las membranas y la magnitud del flujo sanguíneo en la zona de contacto.

Al conjunto de reacciones que convierten los tóxicos en especies químicas distintas que pueden ser menos o más dañinas que el tóxico original, se le da el nombre de **biotransformación**. Si los convierten en sustancias más dañinas se dice que el proceso fue una **bioactivación** y si lo convierten en sustancias menos peligrosas se dice que el proceso fue una **destoxificación**.

Los procesos de destoxificación normalmente consisten en incrementar la polaridad de los xenobióticos haciéndolos menos difundibles a través de las membranas biológicas y más solubles en agua, lo que facilita su excreción en forma de solución acuosa. Estos procesos reducen la cantidad de tóxico que penetra al tejido diana, así como el tiempo de permanencia del tóxico dentro del organismo y, por lo tanto, reducen la magnitud del daño probable a estos órganos diana.

A partir del estudio de la relación que existe entre la dosis contactada por un organismo y la magnitud de la respuesta tóxica se llega a la estimación de los **índices toxicológicos** que son una medida de la peligrosidad de una sustancia. Este parámetro es el que se usa para estimar los riesgos en la población expuesta a los tóxicos, que se encuentran en los distintos medios que constituyen el ambiente de una determinada población que habita, trabaja o hace otros usos de un sitio contaminado.

2.- Las dosis y las respuestas

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

La mayoría de los estudios de la relación dosis/respuesta se ha hecho para determinar los efectos terapéuticos de drogas en experimentos de tipo farmacológico. Esto se refleja, en cierta manera, en el vocabulario científico que se usa para describir esta relación.

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

La magnitud y tipo de los efectos adversos producidos dependen de la duración de la exposición. En algunas ramas de la toxicología, se les da nombres diferentes a la duración de las exposiciones como ocurre en la Toxicología Ambiental. Por ejemplo, las exposiciones se denominan de la forma siguiente: exposiciones agudas, aquellas que se refieren a exposiciones de menos de 24 horas y usualmente a una sola dosis; exposiciones subagudas cuando su duración está comprendida de uno a tres meses; y exposiciones crónicas que corresponden a exposiciones por más de tres meses o una determinada fracción del tiempo de vida normal del organismo en estudio.

La frecuencia de administración es también importante y la respuesta tóxica aumenta cuando:

- la velocidad de absorción es más grande que la velocidad de eliminación
- el intervalo de dosificación es menor que el tiempo requerido para una eliminación completa
- la velocidad de reparación del daño es menor que la velocidad de producción del daño.

Si se obtiene una respuesta de una magnitud definida para cada dosis, dentro de un rango, se dice que la respuesta es “**gradual**”.

La curva dosis-efecto se construye graficando en ordenadas los Efectos (E) causados en el organismo expuesto a una sustancia química y en abscisas las Dosis (D) a las que fue expuesto. Si la experimentación se hizo con el tejido diana aislado expuesto directamente a la sustancia, la respuesta observada normalmente es una función hiperbólica de la dosis de una forma similar a la ecuación de Michaelis-Menten para expresar la velocidad inicial de una reacción enzimática. La curva pasa por el origen del sistema de coordenadas cartesianas y la pendiente máxima se presenta en el origen. La pendiente permanece aproximadamente constante durante un rango amplio de la dosis (cinética de primer orden), después la pendiente disminuye con la dosis hasta que se vuelve cero (cinética de orden cero) y la respuesta adquiere su valor máximo. A este valor máximo se le denomina **efecto máximo** y es una medida de la eficacia del tóxico.

Para representar las curvas dosis-efecto por un número se acostumbra utilizar la dosis que produce una respuesta igual a la mitad de la respuesta máxima.

Si se trata de la curva dosis-efectos terapéuticos se le llama DE50 (Dosis Efectiva, nivel 50%). o dosis que produce una respuesta igual a la mitad de la respuesta máxima. Si se midieron efectos cuantales, entonces la DE50 es la dosis que produce una respuesta efectiva determinada, en el 50% de la población.

Cuando se quieren representar las curvas de efectos tóxicos y letales se usa la DL50 que es la dosis a la cual el 50% de la población que recibe esa dosis muere. La forma de calcular este parámetro es idéntico al utilizado para obtener la DE50, pero en este caso se usa la curva de efectos letales. La DL50 no es una constante biológica porque hay muchos factores que influyen en la toxicidad.

3.- La evaluación de riesgos ambientales

3.1 Análisis de Riesgos

El análisis de riesgos es una disciplina relativamente nueva con raíces antiguas. Como campo del conocimiento se organizó en las últimas tres décadas y su auge se debe a que varios países han aprobado leyes para proteger, tanto a la salud humana como a la biota, de los peligros que puede acarrear la exposición a sustancias peligrosas presentes en el medio ambiente, en base a la prevención y reducción de riesgos.

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

El análisis de riesgos sirve para:

- Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas.
- Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los distintos controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- Localizar instalaciones potencialmente peligrosas.

- Seleccionar prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales

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

El proceso de análisis de riesgos está conformado por varias fases interrelacionadas cada una con ciertos métodos y técnicas:

Las más representativas son:

A) Identificación del Peligro

En esta fase la pregunta que se trata de contestar es: ¿existe el peligro?

Para contestarla se tiene que recurrir a la toxicología, que hace uso de estudios epidemiológicos, estudios *in vivo* con modelos animales, pruebas realizadas *in vitro* utilizando cultivo de células y de tejidos, así como estudios de estructura/actividad.

B) Evaluación de los riesgos

Tiene como meta estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para la salud humana y el ambiente por una actividad o exposición a una sustancia que, bajo

circunstancias, es probable que pueda causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Se usan cuatro técnicas que, aunque distintas, están muy relacionadas: evaluación de la fuente/mecanismo de emisión, evaluación de la exposición, evaluación de dosis/respuesta y caracterización del riesgo.

C) Comunicación de Riesgos

En esta fase los actores involucrados transfieren o intercambian información acerca de los niveles de riesgos para la salud o el ambiente, la importancia de esos riesgos, los tipos de decisiones y las acciones o políticas con que se cuenta para controlar o manejar los riesgos. El principal canal para la comunicación de riesgos son los medios de comunicación, que han sido criticados por exagerar los riesgos y poner más énfasis en los dramas que en los datos científicos. Los problemas en la comunicación provienen de lo numeroso que son las fuentes de información, causando frustración tanto a los comunicadores de riesgos como a los grupos que se pretende sean los receptores de la información.

El análisis de riesgos tiene sus virtudes y sus debilidades. Entenderlas puede ayudar a los tomadores de decisiones en la búsqueda del mejor uso posible de la información y de las suposiciones y juicios de experiencia involucrados en el tratamiento de los riesgos para la salud medioambiental.

3. 2 Estimación de la exposición

Los tóxicos que interesan son aquellos que tienen probabilidad de llegar a estar en contacto con poblaciones

humanas, en cualquier lugar que éstas se encuentren. Se estudian los desplazamientos de los tóxicos en el medio ambiente, desde el punto en que se emiten hasta el lugar en que contactan con las poblaciones. Como se mencionó anteriormente, a este desplazamiento se le conoce como ruta de exposición. En Toxicología Ambiental no se consideran relevantes los desplazamientos de tóxicos que no dan lugar a exposiciones humanas efectivas.

La corroboración de que en un sitio están ocurriendo exposiciones efectivas **es** la determinación del tóxico, o sus manifestaciones, en los organismos expuestos y la presencia del tóxico en el punto de contacto entre los medios ambientales y las poblaciones de interés.

La EPA (Agencia de Medio Ambiente) norteamericana acumula importante información sobre la potencialidad de que un determinado compuesto sea un tóxico (cancerígeno o no-cancerígeno). Esta información procede de estudios epidemiológicos controlados, estudios clínicos o estudios fármaco-toxicológicos con animales experimentales, así como, información de apoyo proveniente de estudios *in vitro* y estudios comparativos entre estructura y actividad.

Los resultados de los estudios epidemiológicos bien diseñados y conducidos que muestran una correlación positiva entre un agente y una enfermedad, presentan la evidencia más convincente de que el compuesto es un tóxico para seres humanos; sin embargo, las bases de datos sobre toxicidad contienen muy poca información de efectos tóxicos observados en humanos porque, normalmente, las exposiciones no son intencionadas y por lo tanto no son estudios controlados.

Hay ocasiones en que las observaciones con animales son de relevancia incierta para humanos. Se considera más probable que un agente tendrá efectos adversos en el hombre, si éstos se observan en diversos experimentos con animales de distintas especies, cepas, en ambos sexos y por diferentes rutas de exposición. Se le da más credibilidad a los resultados si se tiene información procedente de estudios en metabolismo comparado, que demuestren que la sustancia experimenta biotransformaciones similares en el animal de laboratorio y en el hombre.

Los estudios de Estructura-Actividad (o sea, la predicción de actividad toxicogénica basada en el análisis de la estructura química) son otra fuente potencial de información de apoyo. En algunos casos, se usa la información sobre toxicidad de un compuesto para estimar la actividad de otro con estructura parecida para el que no existe información experimental.

La EPA está estudiando la adopción de nuevos protocolos para hacer la evaluación de riesgos de cáncer en lugares contaminados. La metodología inicial estaba basada en los conocimientos que existían hace más de 10 años. En la actualidad, está modificándose para dar mayor peso a los estudios de genotoxicidad, reflejando la mayor confianza que se tiene en el resultado de estos estudios, después del desarrollo que han experimentado las distintas técnicas de laboratorio.

El primer paso en la evaluación de la toxicidad es obtener la información sobre los daños que pueden producir los tóxicos presentes en el sitio. Se obtiene la información sobre la evidencia de que el compuesto es cancerígeno humano o tóxico para el desarrollo, así como los índices que

corresponden a los distintos modos de acción de la sustancia (cancerígenos, no-cancerígenos, tóxicos para el desarrollo, etc.) correspondientes a los distintos períodos de exposición y vías de exposición.

La mayoría de los índices de toxicidad publicados se calcularon en base a los niveles de efectos críticos observados experimentalmente. Para ello se medían las dosis suministradas y no las dosis absorbidas. Cuando se obtienen valores calculados usando dosis absorbidas, es necesario transformarlos a valores equivalentes en dosis suministradas.

También la EPA ha hecho un gran trabajo analizando la información toxicológica de buena calidad que existe y la ha acumulado en tablas electrónicas para consulta *on line* o en publicaciones periódicas. Estas tablas constituyen las mejores fuentes de información sobre índices de toxicidad de que se dispone. La más importantes es:

El *Sistema IRIS* (Integrated Risk Information System). Es una base de datos que contiene información actualizada sobre toxicidad y normativa para el uso de numerosas sustancias. Sólo está disponible para consulta en línea y se puede acceder desde la sede electrónica de la Agencia.

Esta base de datos consiste de una colección de archivos que se van actualizando a medida que la información científica se revisa. Se tiene un archivo por cada sustancia. A medida que la información va estando disponible se agrega al listado. Hasta 2015, contaba con archivos para unas cinco mil sustancias.

4.- La restauración ambiental y sus métodos

4.1 El Proyecto de remediación

La limpieza de un sitio que contenga sustancias tóxicas sólo se justifica si la presencia de los tóxicos representa un peligro para la salud de la población. Esto quiere decir que, antes de proceder a eliminar o controlar las sustancias tóxicas en el ambiente, se deben evaluar los riesgos que representan.

La restauración ambiental de un sitio contaminado, o sea la reducción de las exposiciones a niveles tolerables, puede ser un trabajo enorme y de alto coste cuya magnitud depende fundamentalmente de:

- las características del lugar
- los aspectos legales y normativos
- y la disponibilidad de tecnologías adecuadas para tratar el problema.

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

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

La elaboración del proyecto, normalmente, incluye un trabajo de campo en el sitio contaminado, un trabajo de laboratorio y un trabajo de gabinete.

El trabajo de campo consiste fundamentalmente en la caracterización del escenario de exposición, incluyendo el muestreo del sitio y la identificación de las poblaciones en peligro potencial.

El trabajo de laboratorio conlleva el análisis de las muestras ambientales y la realización de las pruebas de tratabilidad de las muestras de medios contaminados que se desean limpiar. Las pruebas de tratabilidad tienen por objeto, determinar experimentalmente si la tecnología que se seleccione para restaurar el sitio es, realmente, la adecuada para hacer el trabajo. En algunas ocasiones, cuando no se encuentra publicada la información toxicológica necesaria y no se pueden modelar estimaciones confiables, se tienen que hacer estudios toxicológicos de laboratorio.

El trabajo de gabinete consiste fundamentalmente en la obtención y procesado de la información, así como la selección y el uso de modelos matemáticos para predecir el transporte y las propiedades de las sustancias tóxicas. Con el trabajo de campo y de laboratorio, más la información obtenida, se hace la evaluación de riesgos y se toma la decisión de intervenir o no el sitio.

La elaboración de los proyectos de restauración es un trabajo multidisciplinario que requiere de aportaciones de científicos, ingenieros y técnicos de muy diversas disciplinas (toxicólogos, químicos, médicos, meteorólogos, geólogos,

hidrólogos, etc.) con experiencia amplia en el campo de evaluación de riesgos y en restauración ambiental.

4.2 Los estudios de viabilidad

Los Estudios de Viabilidad proporcionan una evaluación de las alternativas de restauración, incluyendo el análisis de las debilidades y ventajas de cada una de las tecnologías, así como los criterios utilizados para seleccionar una alternativa sobre las demás.

La integración de la lista de tecnologías posibles de utilizarse en la restauración del sitio se hace en forma concurrente con la investigación de restauración. El desarrollo y análisis de alternativas así como el establecimiento de las metas de restauración se afinan y modifican a medida que se progresa en la investigación de restauración y la información generada va estando disponible.

El primer paso en la elaboración de los estudios de viabilidad es definir los objetivos de las acciones de restauración. Éstas se deben enfocar a los contaminantes y medios de interés en el sitio, a las rutas potenciales de exposición identificadas y a las metas preliminares de restauración que se establecieron.

4.3 Las tecnologías de restauración ambiental

En la década de los 80 y de los 90 del siglo pasado se trabajó intensamente en el desarrollo de tecnologías para eliminar los tóxicos ambientales.

Inicialmente, la limpieza de un sitio consistía en el traslado del material contaminado a otro lugar donde era confinado o se incineraba. Estas alternativas normalmente encontraron gran oposición en las comunidades cercanas a las instalaciones de recepción y cremación. Tal y como sucede ahora en España.

El desarrollo tecnológico en destoxificación ambiental se ha orientado hacia el diseño de procesos físicos, químicos, biológicos o combinaciones de ellos que tengan las siguientes características:

- a) que transformen los tóxicos ambientales en sustancias menos peligrosas para el hombre
- b) que los riesgos para la salud durante el proceso de limpieza sean tolerables
- c) que los riesgos remanentes, después de terminada la restauración, sean iguales o menores que los establecidos en las metas de restauración.
- d) que la transformación se lleve a cabo en el lugar mismo donde se encuentran los tóxicos, a ser posible sin tener que desplazar dentro del sitio el medio contaminado (lo que se denominan técnicas *in situ*).
- e) y que logren la disminución o eliminación del peligro para la salud en tiempos y costes razonables.

Las tecnologías de restauración se clasifican en dos grandes grupos:

- Técnicas tradicionales o establecidas y
- Técnicas innovadoras.

Las primeras son las desarrolladas antes de 1980 y que se han probado que son efectivas y de uso común, a escala de campo. Como ejemplos de estas técnicas están la inmovilización por vitrificación y cementación en instalaciones de confinamiento y la incineración de medios contaminados en hornos de cremación de residuos tóxicos.

Las segundas son técnicas propuestas más recientemente y que se pueden encontrar en diferentes etapas de desarrollo.

Existen varias bases de datos que también se van actualizando periódicamente y están accesibles vía Internet. En tales bases se proporciona información técnico-económica sobre el estado de desarrollo de las diferentes técnicas de tratamiento de tóxicos ambientales, así como de las empresas propietarias de ellas. Por ejemplo, existe la base denominada VISITT, la base BFSS, la Enciclopedia de Técnicas Innovadoras de Restauración, etc., todas ellas se pueden acceder desde las páginas electrónicas de la mencionada EPA.

En la actualidad se cuenta con información de más de 100 tecnologías diferentes que se basan principalmente en los siguientes métodos y procesos:

A.- Métodos biológicos

Como la Biorestauración

También se le conoce con el nombre de “medidas biocorrectoras”. Consisten en el uso de microorganismos para degradar las sustancias tóxicas, convirtiéndolas en dióxido de carbono, agua y sales minerales inocuas.

Los microorganismos, como es sabido, normalmente utilizan los compuestos orgánicos tóxicos como fuente de carbono, aunque existen procesos basados en la degradación sintrófica de los tóxicos.

La biorestauración se usa para la eliminación de tóxicos en suelo y agua. Para ello se debe modificar las condiciones físico-químicas en la zona contaminada e incrementar, tanto el número de microorganismos capaces de degradar los tóxicos presentes, como su tasa metabólica. Su propósito es aumentar la velocidad de degradación de los tóxicos.

La Fito restauración

Que consiste en utilizar cultivos de plantas para eliminar tóxicos presentes en agua y suelo. Se han utilizado para eliminar iones metálicos, plaguicidas, disolventes, explosivos, derramamientos de hidrocarburos (tanto crudos como compuestos poliaromáticos) y lixiviados de basureros tóxicos.

Las plantas pueden fijar los tóxicos o bien pueden metabolizarlos tal como lo hacen los microorganismos en los procesos de biorestauración.

Existen varios métodos de fitorestauración:

Como la fitoextracción

La rizofiltración

La fitodegradación

O el bombeo biológico

B.- Métodos químicos

La Deshalogenación

Es el método más utilizado, se reduce el número de átomos de halógenos que se encuentran en una molécula orgánica. Los compuestos polihalogenados son muy tóxicos y la disminución del número de halógenos en la molécula reduce su toxicidad.

En la industria y en la agricultura se han usado un número considerable de compuestos polihalogenados y no siempre se han manejado adecuadamente. Para utilizar la deshalogenación química es necesario extraer el suelo contaminado y eliminarle las partículas mayores (piedras,

palos, etc.). Esto hace necesario que en el sitio se disponga de una área adecuada para hacer esta tarea.

C.- El manejo de medios contaminados

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

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

Una vez que se inicia la excavación se debe cuidar que los tóxicos no se emitan al ambiente. Es necesario evitar que el aire transporte los polvos contaminados fuera de la zona de trabajo, especialmente si la excavación se está haciendo en época sin lluvias.

El movimiento de tierras contaminadas representa una porción considerable del coste de tratamiento, aproximadamente el 25% o más, si se incluye el muestreo del subsuelo.

La excavación y apilamiento de las tierras contaminadas no es un problema sencillo. Puede ser que se tengan que manejar materiales radiactivos, sustancias inflamables, mezclas explosivas, etc. Los terreros deben construirse de tal manera que se pueda llevar un control analítico adecuado y que se pueda disponer del material necesario para tener una buena operación en el proceso de tratamiento.

Para finalizar, hablaré brevemente de la

6.- Prevención de la contaminación

Las políticas oficiales actuales, en lo referente a la disminución de los peligros producidos por los xenobióticos peligrosos, normalmente establecen que se debe impedir que los tóxicos se liberen en el ambiente. Se considera que prevenir la contaminación es preferible a restaurar medios contaminados.

El problema principal, desde el punto de vista técnico, que enfrentan los encargados de evitar el incremento de la peligrosidad en el ambiente, sean estos los participantes en la producción o los encargados de aplicar la ley, es la falta de información sobre la toxicidad de los productos químicos. Se estima que se usan más de 80 mil sustancias en las distintas fases de la producción manufacturera industrial.

Por otro lado, la base de datos IRIS, que como ya se mencionó antes, contiene la información sobre los índices de toxicidad validados, de únicamente unas cinco mil sustancias. Se estudian toxicológicamente aproximadamente dos mil sustancias por año, aunque no se validan todas. Así que hay una gran brecha entre el número de sustancias cuya toxicidad se conoce o se estudia y el número de sustancias en uso comercial. Para subsanar esta deficiencia se ha estado trabajando en el desarrollo de métodos para estimar toxicidades en base a la estructura química, habiéndose desarrollado varios modelos computarizados.

Lo que los actores sociales en la prevención de la contaminación necesitan identificar es:

- a) qué sustancias en uso son peligrosas y por cuáles, inocuas, podrían ser substituidas.
- b) cómo se puede evitar ensuciar el ambiente
- c) cómo reducir el coste de evitar la contaminación ambiental, al enfocar los esfuerzos de prevención al manejo de las sustancias verdaderamente tóxicas y no gastar tiempo y recursos al tratar sustancias inocuas como si fueran tóxicos.

Para identificar y aprovechar las oportunidades de evitar la contaminación, se necesita contar con la información para predecir los riesgos y diseñar estrategias que mantengan los riesgos dentro de un nivel aceptable.

El diseño de estrategias de prevención, a diferencia de la evaluación de riesgos, no cuenta con datos de campo para estimar la exposición, puesto que no se ha constituido el escenario de exposición. En este caso, se tienen que suponer niveles de emisión y simular el transporte ambiental para estimar la exposición probable, fijando un valor deseable para esta variable en forma muy parecida al establecimiento de metas de remediación presentadas anteriormente. En la mayoría de los casos, especialmente cuando se trata de productos químicos nuevos, es necesario también estimar la toxicidad en base a modelos de estructura/efecto.

La estrategia de prevención se puede resumir como sigue:

1. La contaminación, siempre que se pueda, se debe evitar en la fuente
2. La contaminación que no pueda evitarse en la fuente, siempre que sea posible, deberá reciclarse en una forma ambientalmente segura
3. La contaminación que no pueda ser evitada o reciclada se deberá, siempre que sea posible, someter a un tratamiento no peligroso de remediación *in situ*
4. La emisión de tóxicos al ambiente, siempre se deberá tratar de evitar y cuando esto sea imposible, deberá intentarse que la emisión adquiera la forma menos agresiva posible.
- y 5. El confinamiento de forma toxicológicamente activa, deberá usarse como último recurso y hacerse en forma tal que se asegure que no se presentarán fugas posteriores que amenacen la salud de la población.

Varias de las tecnologías de remediación descritas anteriormente, tienen el propósito de retirar los tóxicos de los medios ambientales contaminados. Algunas de las técnicas están diseñadas para destruir las sustancias tóxicas, otras tienen por objeto recuperar los tóxicos para volverlos a usar o bien cambiar el estado en que se encuentran para que no den lugar a exposiciones peligrosas para la población. En algunos de estos procesos, al final, los tóxicos se encuentran en forma menos peligrosa y están presentes en materiales más fáciles de confinar que los medios contaminados originales. Esas mismas técnicas se pueden usar para tratar los efluentes industriales antes de salir de la planta y así evitar que liberen tóxicos al ambiente.

Es conveniente conceptualizar la restauración ambiental y la prevención de la contaminación como una estrategia más amplia que engloba a ambos procesos y que tiene como propósito fundamental la reducción de riesgos para la salud de la población.

La misma técnica, evaluación de riesgos, se usa para decidir la intervención de un sitio contaminado, para establecer las metas de restauración y para diseñar las estrategias de prevención. Lo mismo sucede con las tecnologías para remediar medios ambientales contaminados que también se pueden usar para tratar efluentes con el fin de prevenir la contaminación

Como se mencionó anteriormente, para caracterizar los riesgos ambientales es necesario evaluar la exposición de la población y evaluar la toxicidad de las sustancias identificadas como posibles productoras de daños para la salud que se encuentren en el escenario de exposición. Sin embargo, en el caso de diseño de estrategias de prevención, no se tienen datos de campo para estimar las dosis suministradas y, normalmente, no se cuenta con información toxicológica adecuada para la mayoría de las sustancias en uso comercial.

La Oficina de Tóxicos y Prevención de la Contaminación de la EPA ha desarrollado modelos de predicción para estimar propiedades físico-químicas que pueden ser de utilidad en la determinación de la movilidad de las sustancias en el ambiente. Esta oficina también proporciona modelos para simular exposiciones, daños ambientales y para estimar algunos tipos de toxicidades.

He dicho Sr. Presidente. Muchas gracias.