

CAPÍTULO 3

Las sustancias tóxicas y el cuerpo humano

3. LAS SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL CUERPO HUMANO

La acción tóxica de una sustancia consiste en la capacidad de ejercer efectos adversos para la salud. El riesgo que se sufre con la manipulación de determinados compuestos potencialmente tóxicos se encuentra mediado fundamentalmente por la probabilidad de los efectos adversos que se puedan producir en función de de unas circunstancias concretas de exposición a la que se someta el organismo. (Bartual Sánchez, 1984; Cárdenas y Sanz, 1977).

La toxicidad y el riesgo derivado estarán relacionados en función de los efectos biológicos y las propiedades físico-químicas del compuesto implicado, así como de las características del mismo, entre otras causas. De modo general se pueden identificar tres tipos de contaminantes:

1. **contaminantes químicos:** son aquellos que se pueden presentar en suspensión en la atmósfera en forma de gases, vapores, aerosoles u otro tipo de manifestación.
2. **contaminantes físicos:** que se manifiestan como distintas formas de energía (mecánicas, térmicas, electromagnéticas, etc.) dando lugar a efectos sobre el organismo muy diferentes entre sí. Los contaminantes físicos se manifiestan como formas de energía que pueden acceder al organismo de una manera directa, sin vías de entrada específicas.
3. **contaminantes biológicos:** lo constituyen seres vivos o productos derivados de los mismos (hongos, bacterias, ácaros, virus, insectos, etc.).

En la conservación-restauración de las obras de arte se trabaja habitualmente con sustancias tóxicas, formas energéticas nocivas para el cuerpo humano y se está expuesto en muchas ocasiones a organismos biológicos (bacterias, hongos, etc.) o los productos que se derivan de ellos (toxinas, exudaciones de maderas, etc.). La cantidad de sustancia a la que se está expuesto normalmente es pequeña pero, sin embargo, las exposiciones suelen ser continuas o sucesivas.

La naturaleza de muchas de las sustancias tóxicas

son bien conocidas, sin embargo los efectos adversos de otras no se conocen exactamente. Los problemas que pueden plantear muchas de las sustancias que se utilizan, a medio o largo plazo no se conocen exactamente, los estudios toxicológicos se conocen sólo sobre efectos agudos.

A pesar de todo ello las sustancias comerciales son las mejor estudiadas. Normalmente existe información procedente de muchas fuentes sobre la peligrosidad de las mismas y cuáles deben ser las estrategias generales de prevención de los riesgos que se deben adoptar.

3.1. FORMAS DE PRESENTARSE LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS

El número de sustancias con capacidad nociva para el organismo humano o el medio ambiente es muy alto. Estas sustancias tóxicas pueden clasificarse de acuerdo a varios criterios:

- En función de los **elementos presentes en la molécula:** compuestos con arsénico, bario, plomo, cadmio, cobre, cromo, mercurio, etc..
- En función de su **grupo químico funcional:** grupos aldehído, nitro, nitrilo, cetona, éster, éter, etc.
- En función del **compuesto definido propiamente:** cloroformo, dicloroetano, ácido sulfúrico, etc.

Se pueden clasificar también por sus *características físicas y la vía de penetración* de la sustancia tóxica en el organismo:

1. **Gases:** Penetran en el organismo normalmente por inhalación.
2. **Líquidos:** Inhalación de sus vapores y aerosoles. En el contacto con la piel su absorción puede ser importante sobre todo en las mucosas.
3. **Sólidos:** Se pueden inhalar en forma de sólidos o aerosoles. Su penetración directa en los pulmones se produce cuando su diámetro es inferior a 5 μm .

Los contaminantes químicos se pueden presentar de múltiples formas y en función de cada una de ellas hay que adoptar las medidas de control necesarias.

Hemos visto como las sustancias tóxicas se pueden manifestar en los diferentes estados de la materia. En función de las características físico-químicas que adopten estas sustancias, se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Aerosoles (0.05-60 μm): consiste en una dispersión de partículas sólidas o líquidas de tamaño inferior a 60 micras que se pueden presentar, a su vez, en diferentes estados físicos:

- *Polvos (0.1-25 μm):* son creados al romperse materiales sólidos que liberan partículas finas que flotan en el aire antes de depositarse por acción de la gravedad. Se producen por trituración, corte, desintegración, pulverizado, etc... Pueden llegar a ser una fuente importante de contaminación, por ejemplo cuando se trabaja con pigmentos o tintes.
- *Nieblas (0.01-10 μm):* son partículas formadas por materiales líquidos sometidos a procesos de atomización y condensación. También se pueden formar por desintegración de un líquido a su estado disperso como ocurre en las salpicaduras y la espumificación.
- *Humos (<0.1 μm):* son partículas sólidas en estado de dispersión coloidal que se producen por la condensación de vapores, producida por diversas causas: sublimación, combustión, reacción, etc...
- *Brumas (2-60 μm):* apreciables a simple vista y producidas por condensación del estado gaseoso.
- *Humo metálico:* suspensión de partículas sólidas metálicas generadas en un proceso de condensación del estado gaseoso.

2. Gases: son sustancias similares al aire en cuanto a su capacidad de difusión y libre expansión.

3. Vapores: son el estado gaseoso de sustancias que a temperatura ambiente son líquidas o sólidas.

4. Fibras: son partículas sólidas en suspensión de origen animal, vegetal o mineral.

Según la clasificación que se ha presentado habrá que tener en cuenta que el contacto directo con el organismo puede depender de la naturaleza de la sus-

tancia, las condiciones ambientales del local de trabajo y de la duración del tiempo de exposición de la sustancia en cuestión con nuestro organismo, entre otros factores (FREMAP, 1992a).

Dependiendo de la naturaleza de las sustancias el riesgo puede ser mayor o menor. El riesgo que presentan los gases depende, fundamentalmente de la posibilidad de ser inhalados.

Los líquidos pueden absorberse a través de la piel, inhalarse sus vapores o ingerirse accidentalmente. Los sólidos pueden ser inhalados en forma de aerosoles (Bartual Sánchez, 1984).

La inhalación de aerosoles procedentes de contaminantes químicos o biológicos es una de las fuentes más importantes de exposición a sustancias químicas tóxicas y de adquisición de infecciones en el lugar de trabajo (SN21, 1997).

Las partículas menores de 5 μm son las que realmente penetran directamente en los pulmones. El resto pueden ser retenidos por los epitelios de revestimiento del aparato respiratorio.

La mejor manera de prevenir la formación de aerosoles potencialmente contaminantes consiste en adoptar buenas prácticas de trabajo. A continuación describimos algunos mecanismos habituales en los que se generan gran cantidad de aerosoles, con objeto de que se adopten las precauciones oportunas (SN21, 1997):

- el mezclado de soluciones con formación de burbujas incrementan la generación de aerosoles.
- el uso de jeringas para verter líquidos en recipientes.
- cualquier proceso donde se pulvericen sustancias.
- el agitación violenta de disoluciones o la sonicación para facilitarlas generan gran cantidad de aerosoles.
- los derrames automáticamente generan aerosoles que pasan a la atmósfera de trabajo.
- limpieza violenta de utensilios.

3.2. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES SOBRE EL ORGANISMO

El efecto final de una sustancia nociva sobre el organismo de una persona expuesta depende fundamentalmente de la naturaleza del contaminante y de la naturaleza del individuo. Además influye también la velocidad de absorción del tóxico por el organismo, el tiempo de exposición y la concentración ambiental de la sustancia.

El cuerpo humano absorbe el contaminante que ha penetrado por una de las vías normales de entrada y a partir de aquí lo puede distribuir, acumular, metabolizar y finalmente excretar. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias, su efecto se producirá en alguna de estas fases en la que el organismo está en contacto directo con la sustancia contaminante.

Los contaminantes biológicos suelen originar su efecto independientemente de que se produzca una acumulación, puesto que un sólo microorganismo, en función de su virulencia y de la susceptibilidad del hospedador, puede originar una infección generalizada.

Normalmente existe una concentración crítica a partir de la cual los efectos reales de las sustancias tóxicas son verdaderamente adversos, pudiendo existir órganos diana sobre los que actúan preferentemente las sustancias (Bartual Sánchez, 1984).

3.2.1. Clasificación de los contaminantes en función de su acción tóxica

Ya hemos visto como los agentes tóxicos tienen diferentes formas de presentarse y que pueden distribuirse por el organismo hasta que se excretan. Este contacto directo con el organismo, puede ocasionar daños más o menos específicos sobre los diferentes órganos y tejidos.

El efecto de las sustancias tóxicas sobre los diferentes órganos puede ser un buen sistema de clasificación de los contaminantes. De este modo podemos encontrar contaminantes que en función de como ejercen su efecto:

- tóxicos narcóticos, afectando el **sistema nervio-**

so central: los tóxicos liposolubles y los disolventes tiene efectos narcóticos o depresivos inmediatamente, aunque pueden causar también lesiones graves o irreversibles. La acción del tóxico está en función de su solubilidad.

- **agentes neurotóxicos** entre ellos metales como el mercurio y manganeso que provocan efectos diferentes a la narcosis.

- **tóxicos del sistema nervioso periférico:** lesionando los nervios.

- **tóxicos irritantes:** afectan el tejido con el que están en contacto, por ejemplo el amoníaco. También las sustancias producidas por medios físicos como el ozono.

- **corrosivos,** dañando físicamente los tejidos vivos.

- **tóxicos alérgenos:** son los que determinan un cierto factor se sensibilización. Por ejemplo las dermatitis producidas por níquel, cromo, mercurio y sus compuestos, formaldehído, etc...

- **tóxicos que actúan sobre la piel:** se produce una alteración en la capacidad sudorípara en presencia de algunos ácidos orgánicos y alcoholes.

- **tóxicos que producen alteraciones pulmonares** de diferente naturaleza. Los **tóxicos neumoconióticos** se presentan en forma de polvo.

- tóxicos que provocan **asfixia:** cuando el organismo recibe menos oxígeno producida por fenómenos físicos o químicos.

- **carcinogénicos:** los que inducen la formación de tumores.

- **mutagénicos,** afectando el material genético de las células, pudiendo provocar efectos indeseables sobre el organismo y la descendencia.

- sobre la **mujer gestante** manifestándose como malformaciones congénitas, esterilidad.

- **tóxicos que afectan el hígado (hepatotóxicos):** El hígado juega un papel esencial en fenómenos de conjugación y desintoxicación. Estos tóxicos afectan a estas funciones produciendo daños irreversibles. Por ejemplo el tetracloruro de carbono, tetracloroetano (produce atrofia en el hígado) y las nitrosaminas, sustancias organocloradas, tolueno, etc.

- **tóxicos que afectan el riñón:** la salida de las moléculas a excretar a través del riñón requiere que exista un tamaño adecuado de las moléculas. Así las moléculas de gran tamaño tienen dificultad para ser excretadas, por ejemplo los polímeros sintéticos.
- **sistémico:** efectos específicos sobre determinados órganos.

3.2.2. Clasificación dependiendo de su acción sobre tejidos y órganos

Los efectos de las sustancias tóxicas también se pueden clasificar en función de la naturaleza de la acción tóxica. De este modo tenemos tóxicos con efectos:

- locales y generales en función de si los efectos aparecen justo en el lugar de contacto con el tóxico o de una manera generalizada.
- agudos o crónicos según la duración de los efectos.
- reversibles o irreversibles en función de la potencial recuperación frente al tóxico.
- acumulativos o no: para diferenciar los tóxicos que tienen efecto a través de su acumulación en el organismo a través de una concentración excesiva en el cuerpo.
- estocásticos (azarosos) o no estocásticos (probabilísticos).

3.2.3. Coexistencia de varias sustancias

Los efectos sobre el organismo también pueden definirse en función que coexistan más de una sustancia en el ambiente de modo que se pueden producir fenómenos:

- independientes: cada sustancia produce un efecto diferente sobre sitios diferentes del organismo.
- sinérgicos: algunas sustancias potencian el efecto de otra sustancia presente en el organismo.
- antagonísticos: cuando una sustancia disminuye o anula el efecto adverso de otra.

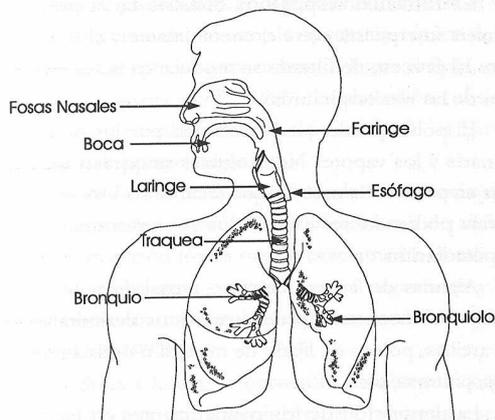
3.3. VÍAS DE ENTRADA DE LOS CONTAMINANTES AL ORGANISMO (FREMAP, 1992b, La Grega, 1996)

Existen dos vías principales de entrada de los contaminantes en el organismo: la vía respiratoria (inhalaación) y la vía epidérmica o cutánea (piel). A bastante distancia en orden de importancia también penetran los tóxicos en el organismo a través de la vía gastrointestinal (ingestión) y la vía parenteral (atravesando la piel).

3.3.1. Vía respiratoria

La inhalación es la más importante vía de entrada de los tóxicos en el trabajo en general y en particular en la restauración de obras de arte (Janowski, M., 1989, Moreno Hurtado, 1997).

El sistema respiratorio se entiende como el sistema formado por la nariz, boca, faringe, laringe, bronquios y alvéolos pulmonares. En la figura se muestra un esquema general de los órganos que forman el sistema respiratorio.



Algunas de las sustancias tóxicas penetran directamente hasta los pulmones, mientras que otras sustancias quedan interceptadas en las barreras de interposición que forman los epitelios de revestimiento de las vías respiratorias.

A continuación se va describir brevemente cada parte:

- **Nariz:** constituye el filtro en el que las partículas depositadas pueden ser eliminadas por estornudos o pasar directamente a la laringe. El proceso es similar a una filtración mecánica
- **Faringe y laringe:** Las partículas retenidas en la cavidad bucal, garganta faringe y laringe pueden ser eliminadas al escupir.
- **Zona traqueobronquial:** las partículas retenidas pueden ser expulsadas al exterior por los cilios que recubren el epitelio de la zona.
- **Región alveolar:** las partículas depositadas en las paredes alveolares quedan retenidas, algunas se pueden incorporar a la sangre. El mecanismo de eliminación es muy lento. La superficie de intercambio de la sustancias tóxica es muy alta.

La cantidad de contaminante absorbido por la vía respiratoria está en función con la concentración ambiental de la sustancia, el tiempo de exposición y ventilación pulmonar.

La filtración respiratoria consiste en la primera barrera interpuesta entre el contaminante y el organismo. El proceso de filtrado se produce en la zona exterior de las vías respiratorias.

El polvo puede quedar retenido por los pelos de la nariz y los vapores hidrosolubles se quedan adheridos en parte en la mucosa que recubre las vías respiratorias pudiendo ser expulsados posteriormente por expectoración.

Algunas de las partículas en forma de polvo que podemos encontrar pueden ser: restos deshidratados de arcillas, polvos de lijado de madera u otras superficies, pinturas, etc.

La deposición de los contaminantes en las vías respiratorias se produce por cuatro mecanismos; sedimentación (caída de las partículas sobre las paredes de las vías por acción de la gravedad), impactación (cuando las partículas que tienen una inercia impactan con una bifurcación), intercepción y difusión (Moreno Hurtado, 1997).

Los vapores, gases y aerosoles pueden penetrar

directamente en los alvéolos pulmonares, pudiendo incorporarse a sangre y distribuirse por todo el organismo o produciendo daños simplemente locales.

Los gases y vapores se pueden absorber rápidamente por los pulmones puesto que penetran profundamente en ellos. Las partículas sólidas de menos de 5-7 μm de diámetro pasan directamente a los alvéolos pulmonares. Las partículas mayores de 5-7 μm suelen ser retenidas en su mayor parte por los epitelios de las vías respiratorias y exhaladas posteriormente.

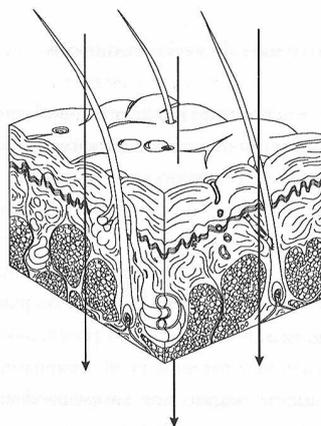
La capacidad de solubilidad de los compuestos dentro del organismo media su grado de toxicidad. Mientras que el óxido de plomo es muy tóxico por su alta solubilidad (Waldron, 1987).

El control biológico de contaminantes químicos en trabajadores expuestos permite, mediante una serie de chequeos periódicos, vigilar el estado de salud de los trabajadores potencialmente expuestos, advirtiendo lo antes posible cualquier alteración en el mismo. (Huici Montagut, 1985a)

3.3.2. Vía dérmica

Cuando una sustancia tóxica entra en contacto con la piel puede actuar de dos formas diferentes:

1. Puede reaccionar directamente (productos cáusticos).
2. Puede penetrar mediante una lesión mecánica, disolución, filtración por poros, etc.



La piel en general es una buena barrera de defensa contra los metales, aunque la penetración de pigmentos de cadmio y plomo se produce eficazmente.

La piel puede ser destruida o alterada por ácidos o bases, peróxidos, disolventes orgánicos en general, blanqueadores y otras sustancias químicas.

La superficie de contacto del tóxico con la piel es muy importante, así como el grado de deterioro de la misma, en el caso de que exista y la naturaleza de la sustancia. Por ejemplo, la secreción de las glándulas proporciona una película superficial de agua y lípidos.

La penetración de los lípidos en la piel dependerá de su capacidad de disolución en estas sustancias. Los disolventes orgánicos se disolverán en a fase lipídica. En la fase acuosa se disolverán los compuestos iónicos solubles en agua.

En general, se absorben más las sustancias liposolubles, aunque las que tienen propiedades lipó e hidrosolubles se absorben todavía más. Los detergentes incrementan la permeabilidad de la piel. Los ácidos y las bases incrementan su permeabilidad debido al deterioro estructural de las barreras que la forman. Si aumenta la temperatura o la humedad ambiental, en general aumenta la permeabilidad de la piel a las sustancias del exterior (Arenaz Erburu, 1994).

3.3.3. Vía digestiva

La vía digestiva es una ruta de entrada de contaminantes al organismo mucho menos frecuente que las anteriores. Normalmente se restringen a una absorción accidental de líquido contaminante (por ejemplo al pipetear con la boca), a la ingesta de comida o bebida en un ambiente contaminado o llevarse las manos contaminadas a la boca. La captación de sustancias dentro del sistema digestivo es muy específica.

Como norma general la captación de compuestos inorgánicos es menos eficaz que la de compuestos orgánicos.

3.3.4. Otras vías

La entrada de tóxicos por vía parenteral (a través de alteraciones en la estructura de los epitelios y pene-

tración directa en tejidos profundos), es especialmente relevante en la contaminación con material biológico. En los trabajos de conservación y restauración del patrimonio se restringe a una pocas actividades como puede ser la inoculación accidental de esporas de bacterias o de hongos en la toma de muestras. Hay que tener en cuenta que existen zonas donde la piel puede estar dañada induciendo la penetración de las sustancias tóxicas o agentes biológicos (piel cercana a las uñas o incluso pequeñas heridas).

La conjuntiva es un área permanentemente expuesta a contaminaciones químicas (proyecciones, salpicaduras, etc.) o biológicas (uso común de gafas de protección, lupas binoculares, microscopios, cámaras fotográficas, etc.).

3.4. ABSORCIÓN DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS

Ya hemos visto que el organismo tiene sistemas de protección contra la entrada de contaminantes. El organismo está cubierto por epitelios celulares (revestimiento de protección). Independientemente de la vía de penetración del tóxico, la sustancia tóxica debe atravesar ese epitelio para conseguir llegar al flujo sanguíneo (La Grega y cols., 1996). La absorción consiste en el paso de cualquier sustancia a través de las barreras que interpone el organismo.

Dependiendo de la naturaleza de la sustancia que entra en nuestro organismo los efectos son de acción local, si su acción tóxica ocurre exactamente donde ha entrado o sistémica si circula por el organismo y su efecto se centra en otro lugar que no es el de entrada (FREMAP, 1992b).

La dosis a la que se encuentra expuesto un organismo se llama dosis suministrada, mientras que la dosis que realmente absorbe el organismo es la dosis efectiva.

3.4.1. La piel

Las sustancias químicas pueden atravesar los revestimientos celulares por transporte pasivo por

TABLA 3.4.1. ZONAS DEL ORGANISMO AFECTADAS POR LAS SUSTANCIAS QUE A CONTINUACIÓN SE RELACIONAN

(SR: sistema respiratorio, Pi: piel, Pu: Pulmón, O: Ojos, SG: Sistema gastrointestinal, SN: Sistema nervioso,

H: Hígado, SC: Sistema Cardíaco, S: Sangre, SL: Sistema Linfático, R: Riñón, OA: Otras afecciones)

Producto	SR	Pi	Pu	O	SG	SN	H	SC	S	SL	R	OA
Acetato de amilo	X	X		X								
Acetato de butilo	X	X		X								
Acetato de etilo	X	X		X								
Acetato de metilo	X	X		X								
Acetona	X	X										
Ácido acético	X	X		X								Dientes
Ácido fórmico	X	X	X	X			X				X	
Amoníaco	X					X						
Benceno	X	X		X		X			X			Médula ósea
Butanol	X	X		X								
Butilamina	X	X		X								
Ciclohexano	X	X		X		X						
Ciclohexanona	X	X		X		X						
Clorobenceno	X	X		X		X	X					
Diacetona alcohol	X		X									
1,2-Dicloroetano												
Diclorometano		X		X		X		X				
N,N-Dimetilformamida	X					X	X				X	
Dimetil-sulfóxido	X	X		X	X							
EDTA	X	X		X	X							Tóxico reproducción
Etanol		X		X		X						Tóxico reproducción
Eter etílico	X	X		X		X						
Heptano	X	X	X			X						
Hexano	X	X	X	X								
Iso-octano												
Isopropanol	X	X		X								
Metanol		X		X	X	X						
Metilciclohexano	X	X										
Pentaclorofenol	X	X		X		X	X	X			X	
Piridina		X			X	X	X				X	
2-Propanol	X	X		X	X							
Tricloroetileno												
Tetracloruro de carbono	X	X	X		X	X					X	
Tolueno	X				X	X					X	
Trementina												
Tricloroetano					X		X	X			X	Nariz
Tricloroetileno	X	X				X	X	X			X	
White spirit												
Xileno	X		X	X	X	X		X		X		

ejemplo difusión simple o a través de los poros de la piel.

El paso de las sustancias químicas a través de la piel puede suponer un vía de entrada toxicológica de importancia en sí misma o una contribución importante a la toxicidad mediada por la entrada de sustancia por otras rutas (Arenaz Erburu, 1994).

El grado de difusión de un agente químico depende de una serie de particularidades físicas como son el grado de ionización, la solubilidad en lípidos, solubilidad en agua. La capacidad de disolverse en lípidos es lo más importante para atravesar la membrana plasmática celular. Su capacidad para ionizarse en agua media su actuación en el flujo sanguíneo.

Los ácidos y bases pueden desnaturalizar los componentes de la piel, pudiendo facilitar la entrada de sustancias en el organismo (Arenaz Erburu, 1994).

Muchas sustancias tóxicas no dañan en sí la piel pero son capaces de atravesarla e incorporarse a la circulación sanguínea afectando a diferentes órganos. Alguna de estas sustancias son el tolueno, los éteres de glicol, el alcohol metílico y el fenol (McCann, 1989a).

Los disolventes pueden alterar la estructura de la piel facilitando la entrada de éstas o de otras sustancias.

Si aumenta la temperatura o la humedad, también aumenta la entrada de sustancias en el organismo a través de la piel, como norma general. Cuanto mayor es la parte expuesta es más fácil la penetración de determinadas sustancias.

El aumento de la hidratación y de la temperatura de la piel también facilita su entrada. De igual forma las enfermedades, las quemaduras e irritaciones también incrementan la entrada de sustancias a través de la piel.

A pesar de lo anteriormente expuesto la piel es una buena barrera de protección contra los agentes tóxicos. El organismo puede tolerar concentraciones entre 100 y 1000 veces superior de contaminantes por vía dérmica frente a las que tolera por ingestión o inhalación (La Grega, 1996).

Además de los procesos de difusión pasiva existen también procesos especializados de absorción de sustancias.

3.4.2. Ingestión

Es una vía de entrada insospechada para muchas personas porque se parte de la base de que la ingestión de una sustancia tóxica es un accidente que sólo se produce muy ocasionalmente, sin embargo dentro de la ingestión se contempla la posibilidad de que nos llevemos a la boca las manos contaminadas con alguna de las sustancias peligrosas o que fumemos en una atmósfera contaminada (McCann, 1989a).

La absorción por ingestión se puede producir a lo largo de todo el sistema digestivo pero se concentra en el intestino fundamentalmente. La presencia de agentes quelantes puede incrementar la absorción de metales pesados y la de cinc disminuye la absorción de cadmio por parte del organismo.

3.4.3. Inhalación

La inhalación es una fuente de entrada de sustancias tóxicas al organismo muy importante. Dentro de estas sustancias tenemos los gases de algunos baños fotográficos, vapores de disolventes, humos de soldadura, polvos de tintes y pigmentos y lijado de maderas, metales o cerámica entre otros (McCann, 1989a).

La absorción por inhalación dependerá de la difusión del gas y el espesor de la capa de tejido que debe atravesar para pasar al torrente circulatorio.

La mayor parte de las sustancias actúan de forma sistémica, es decir, han de ser transportadas por la sangre para alcanzar otros órganos y tejidos. El hígado es un órgano muy dado a almacenar tóxicos en su tejido. El cerebro está protegido por la llamada barrera hematoencefálica, aunque es atravesada por muchos contaminantes químicos.

No todas las vías de exposición son equipotentes en la absorción de las sustancias tóxicas. Por ejemplo el amianto, cromo y níquel son sustancias carcinogénicas por inhalación y sin embargo no parecen provocar tumores por vía oral (La Grega, 1996).

3.5. DISTRIBUCIÓN DE LAS SUSTANCIAS POR EL ORGANISMO

Salvo las sustancias que dañan físicamente los organismos vivos, la mayor parte de los productos químicos en contacto con el organismo no causan directamente efectos nocivos. A partir de este contacto inicial con el contaminante el organismo da paso a una serie de procesos metabólicos donde se absorbe, distribuye, almacena y elimina el tóxico más o menos selectivamente y con más o menos daño. Los metabolitos al transformarse no necesariamente generan sustancias más benévolas para la salud.

Las vías de absorción son fundamentales a la hora de incorporar sustancias tóxicas al organismo. Por ejemplo, las sustancias absorbidas a través de la piel, los pulmones y la boca pueden no alcanzar directamente el hígado durante un tiempo, mientras que las que se absorban por el intestino y el estómago, es posible que accedan más rápidamente.

Las sustancias que penetran en el organismo se distribuyen a lo largo del mismo en función de su capacidad para disolverse en agua o en grasas. Los compuestos que se disuelven en agua se distribuyen por todo el organismo normalmente, mientras que los que se disuelven en grasas tienden a acumularse en los órganos ricos en grasas, incluyendo el sistema nervioso central y periférico.

Muchos compuestos poseen una predilección especial por concentrarse en determinados órganos diana. Así el cadmio, mercurio y plomo se acumulan y afectan al riñón.

Los compuestos normalmente sufren un proceso de biotransformación en el hígado donde se preparan para ser excretados, aunque en algunas ocasiones durante el proceso de biotransformación se generan sustancias más tóxicas que las originales (Walldron, 1987).

Algunas zonas del organismo pueden almacenar selectivamente sustancias en función de su afinidad, independientemente de que ese sea el órgano de destino de acción del tóxico (La Grega, 1996):

- en los tejidos grasos, por ejemplo el sistema nervioso, se almacenan pesticidas organoclorados, PCB y en general sustancias lipófilas.

- en el plasma sanguíneo se produce la acumulación de sustancias que se combinan con proteínas sanguíneas como los iones de mercurio.
- los huesos almacenan fluoruros, plomo y radio.
- los riñones acumulan el cadmio.

3.6. ELIMINACIÓN

El mecanismo de eliminación de los tóxicos se lleva a cabo en las sustancias tóxicas que no se han almacenado, así como la mayor parte de los metabolitos. Normalmente la eliminación de un tóxico está precedida por un mecanismo de biotransformación que consiste en la metabolización de la sustancia tóxica en compuestos menores, no siempre menos peligrosos que la sustancia de origen.

Las mayores rutas de eliminación de compuestos químicos son la orina, las heces y el aire exhalado por los pulmones. Las heces pueden contener hasta el 90 % de los compuestos ingeridos y no incorporados al organismo en el intestino. La vía de excreción más importante es la orina. Otra vía muy importante para compuestos orgánicos no biotransformados es la exhalación de aire. Por ejemplo los disolventes presentan un grado de exhalación importante.

Los tipos de excreción proporcionan información analítica de gran interés a la hora de cuantificar la exposición a la que ha estado sometida la persona en cuestión (Walldron, 1987).

Los compuestos liposolubles no tienen facilidad para su eliminación (teniendo que ser transformados previamente en metabolitos de mayor polaridad), mientras que los compuestos iónicos se eliminan con mayor facilidad. El sistema de eliminación renal mediante la orina es el sistema más eficaz. También se pueden eliminar tóxicos mediante la bilis, el sudor, la saliva, la leche materna, etc.

3.7. TIPOS DE INTOXICACIÓN EN FUNCIÓN DEL PERIODO DE EXPOSICIÓN

El efecto producido por un tóxico en el organismo no sólo es función de la dosis que recibe, sino del tiempo

po y la forma en la que se administra la dosis. Los tipos de intoxicación se pueden clasificar en tres principales:

- **intoxicación aguda:** alteración grave con un corto periodo de exposición. Se caracteriza por un tiempo de exposición corto a una concentración alta y una rápida absorción del tóxico por el organismo.
- **intoxicación subaguda:** el efecto producido es menor.
- **intoxicación crónica:** exposición repetida a pequeñas concentraciones del tóxico. Se producen acumulaciones del tóxico en determinadas zonas del organismo cuando la velocidad de acumulación es mayor que la velocidad de eliminación. Se detectan tras un tiempo de exposición largo (cáncer, metales, etc...).

Se producen frecuentemente fenómenos de sinergia, es decir, la capacidad de una sustancia de potenciar la toxicidad de otra que en condiciones normales resultaría problemática. De igual forma también se producen efectos antagónicos frenando una sustancia la incorporación de otra.

La dosis es la cantidad de contaminante absorbido o retenido en un organismo durante un intervalo específico de tiempo.

3.8. CONTROL BIOLÓGICO DE CONTAMINANTES QUÍMICOS

El control biológico de los contaminantes químicos a los que está expuesto un trabajador es una buena referencia para conocer el nivel de riesgo al que está expuesto. Para establecer un control biológico de contaminantes químicos se han de cumplir una serie de requisitos (Huici Montagut, 1985a):

- conocer la población a controlar.
- seguir una distribución normal y poco dispersa dentro de la población.
- sensibilidad para apreciar variaciones pequeñas antes de que se produzcan efectos irreversibles.
- especificidad de los métodos de control para intentar realizar un método predictivo (Waldron, 1987).

La exposición a compuestos orgánicos suele ser analizable en sus metabolitos, que aparecen en las rutas de excreción del organismo (Huici Montagut, 1985b).

La aparición del metabolito suele ser rápida y su vida media suele ser corta, luego es conveniente muestrear correctamente. Tanto los metabolitos excretados en la orina como los presentes en el aire exhalado suelen estar correlacionados con el nivel de exposición del trabajador, además teniendo en cuenta que muchos compuestos orgánicos penetran por vía dérmica (Huici Montagut, 1985b).

3.9. ÍNDICES DE TOXICIDAD

Los índices de toxicidad son unos valores procedentes de ensayos físicos, químicos y biológicos que nos pueden dar una idea del grado de toxicidad de determinadas sustancias. Normalmente estos índices son valores absolutos, aunque debido a que en algunas ocasiones no se puedan realizar mediciones *in situ* por parte de las personas expuestas, nos proporcionan una buena indicación sobre qué sustancias pueden presentar efectos más nocivos para la salud y, por lo tanto actuar en consecuencia (Bartual Sánchez, 1984, García López, 1995). En la tabla 3.9.1. se muestra una tabla ordenada decrecientemente con el índice de toxicidad de algunas sustancias.

3.9.1. Dosis y concentración letal 50

El efecto real de un tóxico se puede extrapolar al hombre mediante diferentes ensayos con animales.

Una de las pruebas más utilizadas consiste en la determinación de la dosis, expresada en miligramos por kilo de peso de animal experimental que hace falta para que administrada por vía oral o dérmica, produzca la muerte del 50 % de los animales en un plazo de 14 días a partir de la fecha de administración de la sustancia. A este índice se le llama dosis letal 50 (DL50).

La concentración letal media (CL50) consiste en determinar la concentración del tóxico en el aire que al ser inhalada durante un periodo de 4 horas produce una mortalidad del 50 % de los animales, en un periodo de 14 días tras la administración.

TABLA 3.9.1. LISTA DE SUSTANCIAS SEGÚN SU ÍNDICE DE TOXICIDAD EN ORDEN DECRECIENTE

NOMBRE DEL COMPUESTO	T.F.°C	T.E.	T.I.	P.V.	DENS.	TLV	I.TOX
TETRANITROETANO	14	126		8,4		1	8400
BUTILAMINA	-50	76	-12	93	0,76	5	1860
ACETONITRILO	-41	82	5,56	73	0,783	4	1825
TETRACLORURO DE CARBONO	-23	77		91	1,59	5	1820
CLOROFORMO	-63	61		160	1,49	10	1600
DISULFURO DE CARBONO	-112	46	-30	300		20	1500
ALCOHOL ALÍLICO	-129	96,7	21	17		2	850
1,1,2,2-TETRACLOROETANO	-43	146		8		1	800
DIETILAMINA	-50	56	-18	195		25	780
BENCENO	5	80	-11	75	0,88	10	750
METILCELOSOLVE	-85	124	41,7	37		5	740
AGUA OXIGENADA (PERÓXIDO DE HIDRÓGENO)	-11			5		1	500
ÁCIDO FÓRMICO	-9	107	71	23	1,22	5	460
DICLOROMETANO	-95	40	-21	453	1,32	100	453
PIRIDINA	-41	115	17	18	0,98	5	360
HEXANO	-94	68	-23	124	0,66	50	248
ALCOHOL ISOBUTÍLICO	-108	108	28	117	0,8	50	234
FORMIATO DE ETILO	-80	54	-20	194	0,92	100	194
1,1,2-TRICLOROETANO	-36,6	113		19		10	190
BROMURO DE ETILO	-119	38	-20	375		200	187,5
1,1-DICLOROETANO	-97		-8	182	1,2	100	182
ALCOHOL BUTÍLICO	-89,5	118	30	4,2	0,81	25	168
DIOXANO	11	101	12	41	1,03	25	164
NITROETANO	-90	114	41	15,6	1,052	100	156
CICLOHEXILAMINA	-18	133	27	14	0,87	10	140
TRICLOROETILENO	-86	87	77	58	1,46	50	116
ÉTER DIETÍLICO	-116	34	-40	442	0,71	400	110,5
ÁCIDO ACÉTICO	10	118	40	11	1,06	10	110
ACETATO DE METILO	-98	57,2	-10	173		200	86,5
CELOSOLVE	-70	135	45	4		5	80
TETRAHIDROFURANO	-108	66	-14	145	0,89	200	72,5
ETILBENCENO	-95	136	15	71	0,86	100	71
FORMALDEHÍDO	-118	-19	85	1		2	50
ALCOHOL METÍLICO	-98	65	11	97	0,79	200	48,5
ÉTER ISOPROPÍLICO	-85	68	-22	119	0,72	250	47,6
ACETONA	-95	56	-17	266	0,79	750	35,46667
METILETILCETONA	-86	80	6	70	0,82	200	35
1,1,1-TRICLOROETANO	-30	74		100	1,33	300	33,33333

T.F: TEMPERATURA DE FUSIÓN; T.E.: TEMPERATURA DE EBULLICIÓN; T.I.: TEMPERATURA DE INFLAMACIÓN; P.V.: PRESIÓN DE VAPOR (mm HG.); DENS.: DENSIDAD (AGUA = 1); TLV: VALOR LÍMITE UMBRAL; I.TOX.: ÍNDICE DE TOXICIDAD

**NOMBRE DEL
COMPUESTO**

T.F.°C T.E. T.I. P.V. DENS. TLV I.TOX

NOMBRE DEL COMPUESTO	T.F.°C	T.E.	T.I.	P.V.	DENS.	TLV	I.TOX
CICLOHEXANO	7	81	-20	95		300	31,66667
ESENCIA DE TREMENTINA	-50	154-170	32	29	0,86	100	29
TETRACLOROETILENO	-22	121		14		50	28
ACETATO DE ETILO	-83	77	-4	97	0,9	400	24,25
TOLUENO	-95	111	6	22	0,87	100	22
ACETATO DE CELLOSOLVE		156		1		5	20
PROPILENGLICOL	32	231	120	0,01	1,02	5	20
ACETATO DE ISO PROPILO	-69	90	4	43	0,89	250	17,2
ISOPROPILBENCENO	-96	152	44	8		50	16
CLOROBENCENO	-45	132	28	10	1,11	70	14,28571
METILPROPILCETONA	-78	102	7	27		200	13,5
ALCOHOL PROPÍLICO	-126	97	15	21	0,8	200	10,5
ALCOHOL ISOPROPÍLICO	-117	108	28	9		100	9
XILENO	-25	137	24	8	0,86	0100	8
ACETATO DE METI CELULOSA	-65	145	43,9	2		25	8
NAFTA			-40	40		500	8
CICLOHEXANONA	-47	156	43	2	0,95	25	8
ALCOHOL PROPÍLICO	-126	97,2	15	15		200	7,5
ACETATO DE BUTILO	-77	126	22	10	0,88	150	6,666667
ETANOL	-117	78	9	59	0,79	1000	5,9
ACETATO DE AMILO	-70,8	148,4	25	5	0,879	100	5
METILBUTILCETONA	-84	128	25	3	0,8	100	3
DIACETONA ALCOHOL	-43	168	58	1	0,93	50	2
DISOLVENTE DE STODDARD		150	39-60	2		100	2

3.9.2. Valores límite umbral

Los valores límite de contaminante en el ambiente son relativos y se encuentran indicados sólo para el ámbito laboral. Indican de una manera relativa como enfrentarse al riesgo y cual es la probabilidad de trabajar con una cierta seguridad, sin embargo estos valores, extraídos de los ensayos o estudios epidemiológicos no son universales, es decir la susceptibilidad de cada persona influye de modo que por debajo de estos valores pueden existir personas que sufran efectos perjudiciales. Es muy importante, cuando se analicen los valores límite, ver la relatividad de la información que proporcionan (Bartual Sánchez, 1984).

De este modo una de las listas más ampliamente aceptada es la denominada *Threshold limit values (TLV)* confeccionada por la ACGIH *American Conference Of Governmental Industrial Hygienists* (Bartual Sánchez, 1984).

Existen otros valores de contaminación ambiental en otros países pero nosotros nos vamos a centrar en los TLV para simplificar la información. Hay que decir que los valores TLV se encuentran en permanente actualización. Son valores recomendados, meramente indicativos. Por encima de estos valores no necesariamente se está a salvo y por debajo no se está necesariamente en peligro grave. Las TLV incluyen tres categorías:

- TLV-TWA. (Valor límite Umbral-Media Ponderada en el Tiempo). Son las medidas ponderadas en el tiempo para jornadas de 8 horas diarias y 40 semanales para las que un trabajador puede exponerse con una probabilidad baja de sufrir efectos adversos.
- TLV-STEL. (Valor Límite Umbral -Límite de Exposición de Corta Duración). Límites para cortos periodos de tiempo, de 15 minutos, durante la jornada laboral sin sufrir una irritación intolerable, una modificación en los tejidos o una narcosis que pueda originar un accidente, teniendo en cuenta que no se pueden producir más de 4 al día, espaciadas como mínimo 60 minutos y sin excederse el TLV-TWA diario.
- TLV-C (Valor Límite Umbral- Techo) o de valores techo que nunca se pueden sobrepasar.

En esta relación de TLV hay anotaciones como vía dérmica para indicar que es una vía de penetración importante.

3.9.3. Umbrales olfativos

El olfato es una importante herramienta que el hombre utiliza por su sensibilidad para percibir sustancias químicas en el ambiente.

La cantidad de sustancias que se pueden distinguir por las neuronas olfativas son aproximadamente 4000. Las sensaciones que se pueden producir por alrededor de otras 100.000 sustancias son menos definibles pero engloban el picor, quemazón, molestia, frescor, etc.. Es decir el olfato es una fuente de información sobre el estado de contaminación ambiental en el que nos encontramos (Berenguer Subils, 1994).

La presencia de sustancias indeseables en el ambiente puede inducir al afectado a un estado de estrés, hipersensibilidad, cambios de humor y malestar general. Sin embargo a pesar de lo molesto de estas sensaciones la presencia de sustancias químicas tóxicas en el ambiente puede producir en el sujeto que las inhala sensaciones menores perceptibles que también pueden derivar en enfermedades, alguna de ellas graves. Por ello hemos de dar una importancia relevante a la percepción de olores en el ambiente de trabajo.

El umbral olfativo para una sustancia química es un índice subjetivo y se define como el valor de la concentración de esa sustancia para el cual el 50 % de las personas sometidas al estudio perciben su olor.

Este valor es muy interesante compararlo con el valor TLV correspondiente, a la hora de seleccionar respiradores adecuados o diseñar un sistema de ventilación correcto. Por ejemplo el umbral olfativo del benceno es 34-119 ppm, mientras que su TLV es de 10 ppm, es decir nos afecta antes de que podamos detectar su presencia en el ambiente.

Es evidente que, en función de la naturaleza de la persona (sensibilidad, enfermedades, susceptibilidades, etc..), algunas percibirán el olor y otras no lo percibirán, por ello los umbrales olfativos no se pueden tratar como límites de seguridad absolutos para la detec-

ción de concentraciones ambientales de sustancias peligrosas, son meramente indicativos, pero en determinadas ocasiones proporcionan información importante.

Muchos disolventes así como otros tipos de sustancias pueden penetrar a través de la comida, bebida o fumando. Algunos disolventes penetran en el organismo sin ser percibidos puesto que su umbral de olor es bajo (HSE, 1992).

A modo indicativo vamos a relacionar una serie de productos utilizados en conservación cuyo umbral olfativo está por encima de la concentración ambiental a partir de la cual se empieza a afectar nuestro organismo para una jornada completa de trabajo (Arenaz Erburu, 1993).

ácido fórmico	metanol
formaldehído	nitroetano
amoníaco	nitrometano
anilina	octano
benceno	óxido de etileno
butanol	ozono
butanona	2-propanol
ciclohexano	propileno
clorometano	tetracloroetileno
ácido clorhídrico	tetraclorometano
dicloroetano	tolueno
dicloroetileno	tricloroetano
dióxido de carbono	tricloroetileno
éter etílico	xilenos
hexano	

3.10. FACTORES QUE PUEDEN INFLUIR EN EL RIESGO

Existe una gran cantidad de factores que afecta el riesgo que se corre en el uso de una u otra sustancia. Estos factores incluyen entre otros:

- cantidad de la exposición: cuanta mayor cantidad de sustancia emplead el riesgo es mayor.
- frecuencia de la exposición: con qué periodicidad la persona se expone a la sustancia tóxica y durante cuanto tiempo.

• condiciones de la exposición, es decir qué protecciones se adoptan a la hora de enfrentarse con la sustancia peligrosa.

- toxicidad que está en función del tipo de sustancia.
- carga total del tóxico: es la cantidad de tóxico acumulada en el organismo después de las exposiciones que ha sufrido el trabajador.
- exposiciones múltiples: frecuentemente al trabajar no sólo nos encontramos expuestos a un sólo agente, sino que estamos en contacto con varias sustancias. hay que tener en cuenta que el efecto de una sustancia se puede ver potenciado por la presencia de otra en muchas ocasiones, tienen efectos sinérgico.
- susceptibilidad de la persona expuesta: no todas las personas reaccionan igual a todas las sustancias ni todas las personas reaccionan igual a determinadas sustancias a lo largo del mismo día o en diferentes épocas del año.

3.11. GRUPOS DE ALTO RIESGO

Los niños son un grupo de riesgo alto frente a la exposición con sustancias químicas. Los niños tienen una masa corporal mucho menor que la de los adultos y por tanto el tóxico les afecta proporcionalmente más en condiciones de igualdad en un determinado ambiente y en comparación con un adulto. Los niños tienen un metabolismo más alto que los adultos y por lo tanto pueden absorber más sustancias peligrosas, además tienen más tendencia a llevarse las manos a la boca con la consiguiente ingestión accidental y son más inconscientes del riesgo que corren en el contacto con este tipo de sustancias.

En el caso de los restauradores que posean un taller privado, el acceso de los niños a la zona donde se encuentren los productos peligrosos o donde exista una atmósfera contaminada debe estar completamente impedido. De igual forma los niños deben ser educados sobre los riesgos inherentes que presenta la manipulación de cada sustancia peligrosas desde pequeños. Independientemente de que se trabaje en un estudio privado o no, la ropa contaminada nunca debe depositarse en un lugar al que los niños puedan acceder.

Las mujeres embarazadas son otro grupo de alto riesgo. Puesto que no existen estudios epidemiológicos profundos sobre el efecto de muchos materiales relacionados con el arte sobre el embarazo y, teniendo en cuenta que la exposición de la madre a las sustancias químicas puede hacer que algunos tóxicos pasen a la circulación sanguínea sistémica de la madre y atravesar la barrera placentaria o posteriormente detectarse en la leche durante el periodo de amamantamiento, es conveniente que el nivel de exposición de una embarazada a las sustancias peligrosas sea el mínimo.

Las personas con algún tipo de enfermedad pueden agravar su estado si no se controla la exposición a situaciones de riesgo, por ejemplo las personas epilépticas y que tengan hepatitis deben tener mucha precaución en el uso de disolventes, las personas con problemas motores deben tener precauciones extremas en el uso de herramientas, las personas asmáticas deben

impedir trabajar donde existan procesos de lijado o producción de humos, etc...

De igual forma las personas que tengan afectados directamente algún órgano como riñones, pulmones, hígado, etc... deben conocer exactamente el efecto que producen sobre el organismo las sustancias que emplean, ya que muchas de las sustancias utilizadas en arte tienen como diana específica alguno de estos órganos.

Las personas ancianas son un grupo de alto riesgo porque tienden a tener más enfermedades crónicas que el resto de la población; los grandes fumadores y bebedores pueden presentar efectos sinérgicos con algunos materiales relacionados con el arte.

Finalmente, las personas sometidas a un tratamiento con medicamentos fuertes también pueden padecer efectos sinérgicos con algunas sustancias sobre todo con disolventes (McCann, 1989a).