

NTP 697: Exposición a contaminantes químicos por vía dérmica



Exposition dermique aux substances chimiques
Dermal exposure to chemicals

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Complementada por las NTP 895 y 896.

Redactor:

Juan Porcel Muñoz
(CNVM de Bizkaia)

Pedro Delgado Cobos
Isaac Abrii Muñoz
(CNMP de Sevilla)

Introducción

Los efectos derivados de la exposición dérmica a contaminantes químicos pueden ser locales, provocando trastornos en la piel, tales como irritaciones, dermatitis, sensibilización o cáncer, o sistémicos, causando alteraciones o daños en órganos o sistemas específicos (hígado, riñón, etc.) una vez absorbidos y distribuidos por el organismo. La absorción de sustancias a través de la piel puede contribuir significativamente a la dosis global absorbida en la exposición laboral. En muchas situaciones esta vía supone la fuente principal de contribución a dicha dosis, como en el caso de los clorofenoles, bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos y, en particular, en el de los plaguicidas.

La normativa europea y española sobre "Notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas" (Directiva 67/548/CEE y Real Decreto 363/1995), recoge la importancia de la vía dérmica en la aparición de efectos sistémicos y les asigna las correspondientes frases de riesgos específicos (Frases R):

- R - 27: Muy tóxico en contacto con la piel.
- R - 24: Tóxico en contacto con la piel.
- R - 21: Nocivo en contacto con la piel.
- R - 39/21: Nocivo: Peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- R - 39/24: Tóxico: Peligro de efectos irreversibles muy graves por contacto con la piel.
- R - 48/21: Nocivo: Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- R - 48/24: Tóxico: Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto con la piel.
- R - 68/21: Nocivo: Posibilidad de efectos irreversibles por contacto con la piel.

A pesar del reconocimiento de esta importancia, la medida directa de la exposición dérmica está muy poco desarrollada y comúnmente se utiliza el control biológico para estimar su posible contribución. En un principio, únicamente en el campo de los plaguicidas se desarrollaron métodos de medida directa para evaluar la exposición dérmica. Actualmente se realiza un esfuerzo para hacer extensiva su aplicación al resto de actividades industriales y contaminantes con capacidad de penetración por vía cutánea.

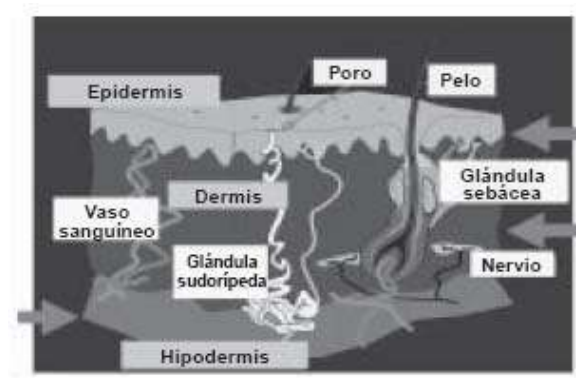
La presente NTP tiene por objetivos la clarificación del proceso de absorción de contaminantes químicos a través de la piel y de los factores que lo condicionan, el conocimiento de los criterios objetivos que se aplican para asignar la notación "vía dérmica" que acompaña a los valores límite ambientales de algunas sustancias, la descripción de los mecanismos de exposición dérmica, los factores que la determinan y una aproximación a la evaluación directa de la exposición dérmica, materia ésta que será desarrollada en una NTP específica.

La piel

Los tóxicos que entran al organismo por vía dérmica deben atravesar una serie de capas o estratos que forman la piel hasta llegar a los capilares sanguíneos y poder ser absorbidos. El conocimiento de la naturaleza y disposición de dichas capas es, por tanto, indispensable para entender la ruta que sigue el xenobiótico hasta alcanzar el torrente sanguíneo.

La piel es una cubierta de espesor variable que envuelve al organismo y desempeña funciones de aislamiento, protección e intercambio. La piel presenta tres zonas o capas diferenciadas (figura 1): epidermis, dermis e hipodermis.

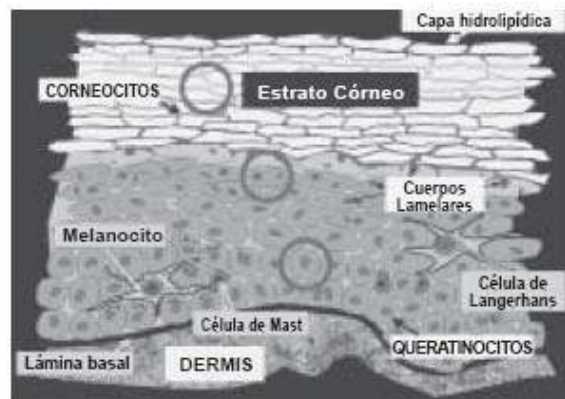
Figura 1
Estructura de la piel



Epidermis

Es la capa exterior de la piel (figura 2). En su estrato inferior se encuentra la membrana basal responsable de la regeneración celular de toda la epidermis. Desde esta zona más activa hasta la capa más externa, llamada también estrato córneo, se suceden una serie de subcapas con células cada vez más degeneradas, debido fundamentalmente a la presión mecánica que sufren. Ya en el estrato córneo las células (corneocitos), muertas y muy queratinizadas, están recubiertas de una emulsión ácida de función bactericida.

Figura 2
La epidermis



Dermis

La dermis, formada principalmente por colágeno y otras proteínas, es la capa más activa de la piel. En ella se alojan los capilares sanguíneos y linfáticos, las terminaciones nerviosas y también los llamados anexos, los cuales juegan un importante papel en las funciones de la piel. Los anexos son, principalmente:

- Glándulas sebáceas: segregan la grasa que confiere flexibilidad y resistencia al tejido. La grasa se excreta al exterior a través de un conducto que acaba en la vaina en la que se insertan los pelos.
- Glándulas sudoríparas: se encuentran en un estrato más profundo que los anteriores. Mediante un conducto, que desemboca en el estrato córneo, se elimina el sudor que contiene sustancias residuales presentes en la sangre.
- Pelos: contienen una parte activa (bulbo piloso) y una parte inerte (fóliculo piloso).

Hipodermis

Este estrato varía mucho según el individuo y la zona corporal. Está constituido por tejido conjuntivo, pero también contiene tejido adiposo que actúa como aislante térmico.

Cada capa de la piel presenta tipos característicos de células, con funciones y composición determinadas. El grosor de las capas, el peso y la perfusión o irrigación varían, pero para un individuo tipo de 70 kg peso, 1,70 m de altura y un flujo cardíaco de 6 l/min. Las características generalmente aceptadas se indican en la tabla 1.

La superficie por la cual puede penetrar un agente químico a través de la piel en nuestro organismo puede ser, en principio, toda la superficie corporal, que es de aproximadamente 1,8 m² en hombres y 1,6 m² en mujeres.

Las manos, antebrazos, cara y cuello, que representan alrededor de 3000 cm² (0,3 m²), están expuestas al aire que se mueve con una velocidad media de 2 km/h, y por tanto «barrerían» un volumen de aire durante un turno de trabajo de 8 horas igual a:

$$2000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,3 \text{ m}^2 \cdot 8 \text{ h} = 4800 \text{ m}^3$$

Esta cantidad es mucho mayor que el correspondiente volumen inhalado durante las 8 horas, que se estima estaría en torno a los 10 m³ de aire. Por tanto, la absorción dérmica puede resultar cuantitativamente muy importante, dependiendo de la concentración de los contaminantes en el medio ambiente y de la capacidad de éstos para penetrar la piel.

Tabla 1
Características de la piel

CAPA	COMPOSICIÓN	GROSOR (μ)	PESO (g)	Perfusión (l/min)
Epidermis	Células muertas (Estrato córneo)	10	100	0
	Células vivas	40	90	
Dermis	Proteínas, células sanguíneas	1250	2500; 1700	0,2
Hipodermis	Tejidos conectivo y adiposo	1375; 6600	7500; 13000	0,15

Penetración dérmica

Mecanismos de penetración dérmica

La piel es susceptible de ser atravesada por los mecanismos de absorción transepidérmica y a través de los anexos.

Absorción transepidérmica

El mecanismo principal de penetración a través de las barreras dérmicas es la "difusión simple", que se explica mediante la llamada Ley de Fick. Se trata de un mecanismo pasivo, ya que no se han desarrollado mecanismos activos de intercambio al ser la epidermis una barrera pasiva protectora, sin otras funciones.

La mayoría de los tóxicos industriales con capacidad de penetración dérmica lo hacen por este mecanismo transepidérmico. Entre las sustancias absorbibles, las de carácter más polar atraviesan por difusión la superficie hidratada y proteica de la membrana (absorción transcelular) y las sustancias apolares penetran a través de los espacios intersticiales que quedan entre los filamentos proteicos de la membrana (absorción intracelular), por ser ésta una zona rica en lípidos.

Es ésta la vía cuantitativamente más importante de penetración de la piel por los contaminantes pero también es más lenta que el paso alternativo a través de los anexos.

Absorción a través de los anexos

Su importancia relativa es menor porque la superficie de intercambio es mucho menor, aunque la capacidad de penetración (coeficiente de difusión) sea más alta. Lo característico de esta vía es el mecanismo denominado «entrada de choque», haciendo referencia a la cantidad y rapidez con que penetra el xenobiótico en una primera fase, antes de que se sature el mecanismo debido a la pequeña superficie de intercambio que representan los anexos. Las moléculas lipofílicas de tamaño grande y algunos electrolitos pueden penetrar por este mecanismo.

Factores que determinan la penetración dérmica

El estrato córneo constituye la principal barrera frente a la penetración dérmica, siendo la velocidad de penetración a través del mismo la etapa limitante en la absorción cutánea. El proceso se produce en varias etapas:

- Primero, las moléculas del agente químico deben absorberse en la superficie del estrato córneo para atravesarlo.
- Después, deben difundir a través de las diferentes capas de células que lo conforman.
- Posteriormente, pasarán al resto de la epidermis y a la dermis hasta alcanzar los vasos sanguíneos, a través de los cuales ingresarán en el sistema vascular.

Un factor a tener en cuenta es el metabolismo cutáneo, ya que la piel contiene enzimas que producen la metabolización de algunos de los tóxicos que penetran, modificando así su estructura y su potencial toxicidad sistémica. Este metabolismo se muestra en ocasiones tan activo como el que tiene lugar en el hígado.

Los principales factores que determinan la penetración dérmica son la naturaleza, estado físico y estructura del compuesto, el tipo de vehículo, el efecto de la hidratación, y el estado de la piel

Naturaleza, estado físico y estructura del compuesto

El agua penetra fácilmente la piel en la transpiración. Sin embargo los compuestos hidrosolubles en general penetran a través de la piel de forma más lenta y dificultosa. Si se trata de moléculas grandes, con numerosos grupos polares capaces de interaccionar con los propios restos polares del estrato córneo, disminuye sensiblemente la difusividad y la capacidad de penetración. Así, compuestos con peso molecular mayor de 500 pasarán muy lentamente por la barrera dérmica, si es que lo hacen. En cambio, algunas pequeñas

moléculas hidrofílicas pueden seguir el camino del agua que penetra a través del estrato córneo, especialmente si no tienen grupos polares y no se disocian al pH de la piel.

Los electrolitos aplicados en disolución acuosa no penetran, ya que la carga eléctrica de los mismos interacciona con los componentes del estrato córneo, retardando, si no impidiendo, la penetración. Así, los iones de las sales solubles de los metales cobalto, cinc y plata no penetran prácticamente.

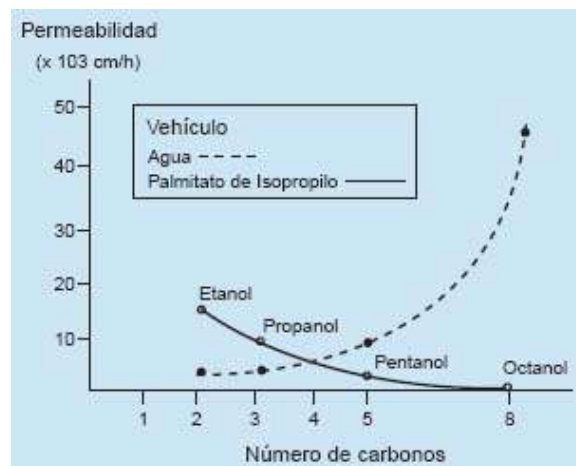
Entre los compuestos polares no electrolitos, los alcoholes miscibles con agua penetran tanto más cuanto más liposolubles son (figura 3). Esto es, si se incrementa la longitud de la cadena del alcohol alifático, la solubilidad en la membrana aumenta y también la permeabilidad. Pero si la cadena es excesivamente larga ($C > 10$), la

baja movilidad y la viscosidad del compuesto reducen la penetración. Si se aplican directamente, los alcoholes puros penetran en mucha menor medida en que lo harían sus disoluciones acuosas.

Los compuestos organometálicos tales como el tetraetilo de plomo, los compuestos orgánicos de estaño y los de manganeso, tienen carácter hidro y liposoluble por lo que pueden penetrar con facilidad a través de la piel.

En cuanto a los compuestos lipofílicos, las membranas y los espacios intercelulares contienen lípidos que permiten por afinidad el paso de este tipo de compuestos. La mayor o menor dificultad para penetrar dependerá del tamaño molecular y de la longitud de las cadenas. Así, compuestos con cadenas muy cortas serán muy volátiles y se evaporarán sobre la superficie, mientras que los compuestos con cadenas demasiado largas permanecerán en la zona lipídica y su viscosidad impedirá la penetración.

Figura 3
Penetración de alcoholes



Influencia del vehículo

El vehículo o compuesto utilizado para facilitar la aplicación del producto puede modificar la capacidad de penetración de las sustancias, con respecto a cómo lo harían si estuviesen en estado puro. La solubilidad y la concentración de la sustancia pura en el vehículo van a condicionar, por tanto, su permeabilidad.

La penetración de los compuestos lipofílicos dependerá de las características químicas del vehículo utilizado. Si éste es hidrofílico, la penetración es mucho más alta que la que presentaría el mismo compuesto en un vehículo de carácter lipofílico.

De la misma forma, si se usa un vehículo lipofílico como el aceite de oliva con una sustancia soluble en agua como la n-nitrodietanolamina, ésta penetrará la piel 200 veces más rápidamente de lo que lo haría si se encontrase disuelta en agua.

Esto es debido a que el estrato córneo tiene regiones hidrofílicas y lipofílicas. Por tanto, las sustancias que presenten parcialmente ambas características de lipo e hidrosolubilidad, unido a un pequeño tamaño molecular, tendrán más facilidades para penetrar. En estos casos la solubilidad característica del vehículo aporta el complemento necesario para aumentar la capacidad de penetración de la sustancia.

La figura 3 ilustra la variación en la capacidad de penetración (permeabilidad) de una serie homóloga de alcoholes dependiendo de que se apliquen en un vehículo de tipo hidrofílico o lipofílico. Según aumenta la longitud de la cadena alifática y por tanto la liposolubilidad de los alcoholes, se ve favorecida la penetración si se utiliza un vehículo acuoso.

Los vehículos que más favorecen la penetración de los de tipo acuoso, serían la mezcla agua-eter (1:1), el butanol, y la mezcla agua-etanol (1:1). Entre los lipídicos se encontrarían, el aceite de oliva y el palmitato de isopropilo.

Efecto de la hidratación

Las propiedades de la piel pueden variar con el grado de hidratación de la misma. Se requiere un mínimo de humedad para asegurar la función barrera del estrato córneo, pero más allá de esto, un grado alto de humedad podría aumentar hasta en 10 veces la permeabilidad de la piel. La hidratación afecta a propiedades como el grosor, la difusividad y el coeficiente de reparto, haciendo de

difícil predicción el resultado final de la absorción. En general, una excesiva hidratación, producida por ejemplo por el lavado subsiguiente a la deposición de un disolvente sobre la piel, puede incrementar la absorción de las sustancias liposolubles que componen el disolvente. Una hidratación excesiva puede venir causada también por el atrapamiento del sudor al utilizar ropa de protección. Este hecho, conocido como «efecto de depósito» y en el que el contaminante resulta ocluido o atrapado, con un alto grado de humedad y con un presumible aumento de la temperatura local, puede aumentar notablemente la penetración.

Estado de la piel

Cada zona de la piel presenta unas características propias debido al tamaño celular, grosor del estrato córneo, cantidad de lípidos, etc., que condicionan la capacidad de los xenobióticos para penetrar la barrera cutánea, como se observa en la tabla 2, donde se muestran las variaciones regionales en la permeabilidad de la piel.

Tabla 2
Penetración de la C¹⁴ hidrocortisona

ZONA	PENETRACIÓN _i RELATIVA
Planta de pie	0,14
Tobillo	0,42
Palma de la mano	0,83
Antebrazo (ventral)	1,0
Antebrazo (dorsal)	1,1
Espalda	1,7
Cuero cabelludo	3,5
Axila	3,6
Frente	6,0
Mandíbula	13,0
Escroto	42,0

Además de esto, un factor primordial que habrá que tener en cuenta en la absorción cutánea es la integridad de la piel.

Algunas sustancias irritantes o de efecto cáustico como los ácidos, los álcalis y los detergentes, e incluso algunos metales, pueden actuar sobre la parte más externa del estrato córneo, dañando la capa protectora de la piel y modificando su permeabilidad.

Los disolventes orgánicos, de amplio uso en higiene industrial y con capacidad para disolver los lípidos, rompen la continuidad de la membrana desestabilizando la estructura proteica del estrato córneo.

La absorción de tóxicos es mucho más rápida a través de la piel dañada. Especialmente las mezclas con características de solubilidad polar-no polar, como es el caso de la mezcla cloroformo-etanol, dañan severamente el estrato córneo y toda exposición subsiguiente verá seriamente aumentada la penetración.

La integridad de la piel es, por tanto, un factor fundamental para el mantenimiento de su función de barrera. El exceso de estrato córneo causado por dolencias de tipo descamativo, como soriasis, dermatitis seborreica, etc., constituye un factor importante en el incremento de la permeabilidad de la piel.

La notación "vía dérmica"

Los valores límite ambientales utilizados en la evaluación de la exposición a agentes químicos, como los incluidos en el "Documento sobre límites de exposición profesional para agentes químicos en España" publicado anualmente por el INSHT, se han establecido exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos.

Cuando uno de estos agentes se puede absorber por vía cutánea, sea por la manipulación directa del mismo, sea a través del contacto de los vapores con las partes desprotegidas de la piel, y esta aportación pueda resultar significativa para la dosis absorbida por el trabajador, el agente en cuestión aparece señalado en la lista con la notación «vía dérmica». Esta llamada advierte, por una parte, de que la medición de la concentración ambiental puede no ser suficiente para cuantificar la exposición global y, por otra, de la necesidad de adoptar medidas para prevenir la absorción a través de la piel.

Para la asignación de esta notación se han seguido diversos criterios que tienen en cuenta la toxicidad y, sobretudo, la capacidad de penetración de la sustancia a través de la piel, que se estima midiendo el "flujo de penetración dérmica".

El flujo de penetración dérmica y su medida

El flujo de penetración a través del estrato córneo (R) se define como la cantidad de compuesto (mg o μmol) que penetra el estrato córneo por contacto directo, por unidad de área de piel (cm^2) y por unidad de tiempo (min, hora). Este parámetro depende de la

naturaleza y propiedades del contaminante, del vehículo y del estado de la piel.

La penetración dérmica es un proceso de difusión pasiva que encierra una doble vía: transcelular (o polar) e intercelular (o apolar). La velocidad de penetración por ambas vías está relacionada directamente con la solubilidad de los compuestos en agua y en lípidos y, de forma inversa, con el peso molecular de las sustancias.

La cantidad de compuesto absorbido es proporcional a la duración de la exposición y al área de piel afectada. Además, la absorción dérmica se ve afectada por la carga de trabajo y la actividad física, que aumenta la temperatura de la piel y favorece la penetración.

El flujo de penetración dérmica R puede calcularse mediante la aplicación de un modelo matemático adecuado y/o experimentalmente.

Entre los modelos que se proponen para determinar el flujo de penetración (R) para obtener una estimación de la absorción dérmica, está el siguiente:

$$R = \frac{C_{\text{sat}}}{15} (0,038 + 0,153 P) e^{-0,016 P_m}$$

Donde:

C_{sat} es la concentración de la disolución saturada del compuesto en agua

P es el coeficiente de reparto agua-octanol

P_m es el peso molecular

La presencia del peso molecular en el exponente negativo de la expresión indica que sustancias con altos pesos moleculares tendrán un flujo de penetración despreciable. Como indicación práctica, moléculas con peso molecular superior a 500 tendrán una escasa capacidad penetración.

Experimentalmente, R puede ser determinado «in vitro» midiendo la velocidad de difusión a través de una sección de estrato córneo de una muestra de piel. «In vivo», podría estimarse por varios procedimientos: midiendo las pérdidas producidas de un compuesto aplicado de forma hermética a un área definida de la piel; midiendo la eliminación del compuesto o sus metabolitos en experimentos con voluntarios; o midiendo la carga corporal del contaminante tras la aplicación a ratones con piel desnuda.

Criterios para asignar la notación "vía dérmica"

Ante la necesidad de asignar esa notación con algún tipo de criterio cuantitativo, diversas Instituciones han realizado propuestas que tienen en cuenta tanto la toxicidad de la sustancia como su capacidad para atravesar la barrera cutánea, dos de las cuales se exponen a continuación:

El Centro Europeo de Toxicología y Ecotoxicología (ECETOC) propone lo siguiente:

Debería asignarse la notación «vía dérmica» cuando la cantidad absorbida por ambas manos y antebrazos en 1 hora supusiera más del 10 % de la cantidad que puede ser absorbida por vía pulmonar, en una exposición al nivel del Límite de Exposición Profesional (LEP) durante 8 horas, con la condición de que este LEP haya sido establecido como protección frente a posibles efectos sistémicos y no para evitar efectos irritantes o sensoriales. En esta propuesta se asume que:

- El área de manos y antebrazos es de 2000 cm²
- El volumen inhalado en 8 h es aproximadamente de 10 m³.
- La fracción del contaminante atmosférico presente que es absorbido por los pulmones es f (si no se conoce, se toma por defecto 0,5)
- LEP es el Límite de Exposición Profesional o valor límite ambiental

El flujo de penetración crítico R* correspondiente al criterio del 10%, vendrá expresado por la ecuación:

$$R = \frac{10 \text{ (m}^3\text{)} \cdot \text{LEP (mg/m}^3\text{)} \cdot f}{2000 \text{ (cm}^2\text{)} \cdot 1 \text{ h}} \cdot \frac{10}{100} = \frac{\text{LEP} \cdot f}{2000} \left(\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

Calculando y simplificando

$$R^* = 0,5 \cdot f \cdot \text{LEP} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

Si tomamos para f el valor por defecto de 0,5

$$R^* = 0,25 \cdot \text{LEP} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

Cuando $R > R^*$, es decir, cuando se cumpla que el flujo de penetración medido o estimado por cualquiera de los procedimientos teóricos o experimentales anteriormente expuestos, sea mayor que el flujo crítico calculado mediante las expresiones anteriores, habrá que considerar como significativa la capacidad de penetración dérmica del contaminante.

microgramos

$$R^* > 0,25 \cdot \text{LEP} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

Este criterio tiene en cuenta tanto la absorción cutánea como la toxicidad de las sustancias. Cuando la absorción dérmica pueda ser cuantificada y el LEP haya sido establecido como protección frente a los posibles efectos sistémicos, la condición de que «la absorción a través de 2000 cm² de piel en 1 hora sea mayor que el 10% del tóxico inhalado al nivel del LEP», debería ser suficiente para asignar a la sustancia la notación «vía dérmica». Sin embargo, cuando se utilizan LEP menores para evitar efectos organolépticos, sensoriales o irritantes, la notación no debe ser aplicada siguiendo este criterio.

Esta notación no indica que necesariamente se produzca un incremento de riesgo para la salud. Indica, más bien, que la correlación esperada entre las medidas en aire y en medios biológicos puede verse afectada y resultar incongruente. Bajo estas circunstancias, el control biológico puede jugar un papel esencial al proporcionar información sobre la exposición global y no sólo sobre la producida por vía inhalatoria.

La Asociación de Higienistas Industriales norteamericana (ACGIH), con el mismo propósito de asignar la notación "skin" (piel) a sus límites de exposición profesional (TLV-TWA), propone un criterio ligeramente diferente:

En resumen viene a decir, que si la cantidad de contaminante absorbido por la vía dérmica excede del 30 % de lo ingresado por la vía inhalatoria en una exposición al nivel del TLV-TWA durante 8 horas, la sustancia tiene suficiente capacidad de penetración como para asignarle la notación "piel".

Teniendo en cuenta lo expresado en este criterio, asumiendo que el área expuesta corresponde a las manos y asignándoles a éstas un 2 % del total de la superficie corporal, equivalente a 360 cm², Fiserova-Bergerova llega a la siguiente expresión para el valor del flujo crítico R^* :

$$R^* = 0,75 \cdot (\text{TLV-TWA}) \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

Por tanto, cuando el valor del flujo de penetración medido experimentalmente R sea mayor que el flujo crítico R^* estimado de la forma indicada, habrá que considerar como significativa la capacidad de penetración dérmica del contaminante y asignarle la notación "piel".

$$R^* > 0,75 \cdot (\text{TLV-TWA}) \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{h}} \right)$$

Medida de la exposición dérmica

La exposición dérmica es un proceso dinámico de contacto entre un agente químico y la piel, en una determinada superficie de la misma, y a lo largo de un período concreto de tiempo. La Agencia de Protección Medioambiental (EPA, 1996) la define como "la cantidad de contaminante en contacto con la capa exterior de la piel que se encuentra disponible para ser absorbida por vía dérmica y/o para producir un efecto sobre la superficie de la piel". Sin embargo, son los posibles efectos sistémicos que puedan producirse, más que los efectos locales, los que interesan al propósito de esta monografía.

Mecanismos de exposición

Son las distintas formas en que el contaminante y la piel entran en contacto, permitiendo así que se produzca la exposición por vía dérmica, proceso interactivo entre la fuente de contaminación y el trabajador expuesto. Se agrupan en tres categorías:

Contacto directo

Este mecanismo se da cuando la piel entra en contacto con un líquido, un sólido o la fase gaseosa de una sustancia (la inmersión sería un ejemplo de este mecanismo)

Deposición

Es un mecanismo en que el aerosol o el vapor impacta con la piel. Estos aerosoles pueden generarse como consecuencia de la

actividad de trabajo (pintura a pistola, aplicación de plaguicidas o de forma accidental).

Contacto con superficies

En este mecanismo se produce el contacto de la piel con el contaminante depositado en una superficie, con lo que el residuo de contaminante es transferido a la piel. Este caso representa la principal vía de exposición en muchos lugares de trabajo: agricultura (tras la aplicación de productos fitosanitarios), mantenimiento, limpieza de equipos, etc.

Factores que determinan la exposición

Los factores determinantes de la exposición se pueden clasificar en seis categorías:

- Características físico-químicas de la sustancia: estado físico, viscosidad, volatilidad, tamaño de partícula, adherencia del producto sólido, etc.
- Tarea realizada por el trabajador: duración, cantidad de sustancia manejada, etc.
- Equipo y procedimiento de trabajo: nivel de automatización, proximidad, orientación, etc.
- Medidas de control de la exposición: técnicas, organizativas y de protección individual.
- Características del trabajador, tales como experiencia y entrenamiento, así como hábitos de trabajo y de higiene personal.
- Características del lugar de trabajo: interior o exterior, condiciones ambientales, etc.

La importancia relativa de cada uno de los factores depende del mecanismo de exposición.

Evaluación de la exposición dérmica. Técnicas de muestreo

En la evaluación de la exposición por vía dérmica cabe distinguir entre medidas de exposición potencial, de exposición real y de dosis absorbida (figura 4).

- Se entiende por exposición potencial la cantidad de sustancia que se deposita en el exterior de la ropa de trabajo, sobre la prendas de protección individual y sobre las superficies expuestas de la piel.
- La exposición real sería la cantidad de sustancia que realmente alcanza la capa exterior de la piel, incluyendo las superficies expuestas de la piel y teniendo en cuenta, además, la posible penetración a través de las zonas protegidas (ropa y guantes).
- La dosis absorbida o dosis interna es, por otra parte, la masa de contaminante que penetra en el organismo a través de la piel y se incorpora al torrente sanguíneo.

Las dos primeras son medidas directas de la exposición dérmica, que permiten también determinar el grado de exposición correspondiente a cada una de las zonas corporales, lo que posibilita el diseño adecuado de los medios de protección y la selección de los métodos de trabajo más convenientes.

La dosis absorbida depende de una serie de factores relacionados con el propio compuesto y con las características y estado de la piel. Se determina a través del control biológico y podría ser relacionada indirectamente con la exposición dérmica, si la exposición al agente químico en cuestión tuviese lugar exclusiva o principalmente por vía cutánea.

Las técnicas de muestreo empleadas para la medición directa de la exposición son las sustitutivas de la piel, las de retirada del contaminante, las de trazadores fluorescentes o colorantes y las técnicas de muestreo de superficies

Figura 4
Exposición dérmica



Técnicas sustitutivas de la piel

En estos métodos, se estima la cantidad de contaminante que potencialmente podría ser absorbido a través de la piel, mediante su captación en un medio de toma de muestra antes de que éste entre en contacto con la piel. Se asume que el medio seleccionado retiene los contaminantes de manera similar a como lo haría la piel, aunque cabe pensar también, que se produce una sobreestimación de la exposición ya que se escogen medios con buenas propiedades absorbentes.

Se pueden diferenciar tres técnicas de muestreo:

- Guantes absorbentes. En este caso, se utilizan como sistema de captación unos guantes convencionales, generalmente de algodón, que el trabajador usa durante el período de exposición.
- Parches absorbentes, que cubren pequeñas superficies corporales estratégicamente situadas, estimando la exposición a partir de la cantidad de contaminante retenido. El principal inconveniente de este método es la falta de representatividad de los resultados en el caso de exposiciones no uniformes.
- Cuerpo completo o método de la ropa de trabajo. En este método se utiliza como medio de toma de muestra, ropa de muestreo que cubre regiones anatómicas completas.

Técnicas de retirada del contaminante

Estas técnicas se basan en la retirada de los contaminantes depositados en la piel antes de que sean absorbidos. El principal inconveniente de estos métodos es la sub-estimación de la exposición debido a la absorción de parte del contaminante depositado en la piel.

Existen dos métodos que se basan en la retirada del contaminante:

- Limpieza con disolvente. Se trata de limpiar cuidadosamente las manos con una gasa impregnada con un disolvente adecuado para recuperar el contaminante de la piel.
- Aclarado. Este procedimiento consiste en introducir las manos en unas bolsas que contienen un disolvente adecuado y después, agitarlas vigorosamente durante al menos dos minutos. Una modificación de este método consiste en lavar las manos directamente con el disolvente.

Técnicas de trazadores fluorescentes o colorantes

Estas técnicas evalúan la exposición dérmica bien adicionando o bien sustituyendo el contaminante por otra sustancia, que por sus propiedades fluorescentes o colorantes permite un análisis de la deposición de esta sustancia.

El principal inconveniente que presenta esta técnica es la asunción de equivalencia entre la deposición del contaminante cuya exposición dérmica se pretende evaluar y la sustancia empleada.

Técnicas de muestreo de superficies

Estas técnicas permiten recoger el contaminante depositado en una superficie de trabajo de área conocida y estimar cuál podría ser su contribución a la exposición dérmica si se produjera un contacto físico con ella.

Bibliografía

1. ACGIH
Threshold limit Values and Biological Exposure Indices. Documentation of the Biological Exposure Indices
7th. Edition, 2001
2. BENFORD, D.J.; FIRTH, J.
Dermal Exposure Network.
Final Report University of Surrey 1999
3. ECETOC.
Strategy for assigning a "skin notation"
Ecetoc document no 31 (revised)
4. ECETOC
Percutaneous Absorption Monograph.
N° 20, 1993
5. FENSKE, R.A.
Dermal Exposure Assessment Techniques
Ann. Occup. Hyg. Vol. 37. No 6, 1993
6. FISEROVA - BERGEROVA ET AL.
Dermal Absorption Potencial of Industrial Chemicals: Criteria for Skin Notation
Am. J. Ind. Med. 17 (5); 617-635 (1990)
7. GRANDJEAN P., BERLIN, A., GILBERT., PENNING, W.
Preventing Percutaneous Absorption of Industrial Chemicals: The "skin" Denotation
Am. J. Ind. Med. 14: 97-107 (1988)
8. GRANDJEAN, PH.
Skin Penetration. Hazardous Chemicals at Work.
Pub. n° EUR 12599 of the Commission of the European communities. Taylor and Francis. London, 1990.
9. INSHT
Límites de Exposición Profesional para agentes químicos en España
Documento 2005.
10. OECD.
Guidance Document for the Conduct of Studies of Occupational Exposure to Pesticides During Agricultura) Application.
OECD Series on Testing and Assessment, N° 9 OECDIGD(97)/148, Paris, 1997.
11. PACKHAM, C.L.
Esentials of Occupational Skin Management.
Limited Edition Press, Southport 1998.

12. RAJAN -SITHAMPARANADARAJAH et al.,
Patterns of Dermal Exposure to Hazardous Substances in European Union Workplaces.
Ann. Occup. Hyg., Vol 48, 2004.
13. Real Decreto 363/1995 de 10 de marzo (B.O.E. 5.6.95).
Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.
Modificado el Anexo I por la Orden de 13.9.95 (B.O.E. 19.9.95).
14. US EPA.
Exposure Factors Handbook, Vol. I - General Factors
EPA/600/P-95/002Fa - Office of Research and Development, National Centre for Environmental Assessment, Washington D. C., 1997.
15. US EPA.
Occupational dermal exposure assessment - a review of methodologies and field data (68-D2-0157, WA) no. 2-50.
Washington D. C.: Environmental Protection Agency, 1996.