



UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA

LA PELIGROSIDAD
EN LABORATORIOS QUÍMICOS:
MÉTODO PARA SU EVALUACIÓN Y
CLASIFICACIÓN

FRANCISCO SICILIA GUTIÉRREZ

Tesis Doctoral

Granada, 2012

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Francisco Sicilia Gutiérrez
D.L.: GR 54-2013
ISBN: 978-84-9028-262-5

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA

Programa de Doctorado: Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente

TESIS DOCTORAL

LA PELIGROSIDAD EN LABORATORIOS QUIMICOS:
MÉTODO PARA SU EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN

Memoria presentada por Francisco Sicilia Gutiérrez para aspirar al grado
de Doctor en Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente

Fdo. Francisco Sicilia Gutiérrez

Directores:

Fdo. Dr. Pedro Espinosa Hidalgo

Fdo. Dra. Inmaculada Sánchez Ruiz de Valdivia

Granada, 2012



UNIVERSIDAD DE GRANADA
Escuela de Posgrado

AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DE TESIS

D. PEDRO ESPINOSA HIDALGO Y D^a. INMACULADA SANCHEZ RUIZ DE VALDIVIA

Directores de la Tesis : **LA PELIGROSIDAD DE LOS LABORATORIOS QUIMICOS: METODO PARA SU EVALUACION Y CLASIFICACION**

de la que es autor.: D. FRANCISCO SICILIA GUTIERREZ

Programa de Doctorado: Ciencias y Tecnología del Medio Ambiente

AUTORIZA la presentación de la referida Tesis para su defensa y mantenimiento de acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 56/2005, de 21 de enero, emitiendo el siguiente informe:

El Doctorando, D. FRANCISCO SICILIA GUTIERREZ, director, en la actualidad, del Servicio de Prevención de Riesgos de la Universidad de Granada, ha investigado y propuesto un método para evaluar y clasificar la peligrosidad de los Laboratorios Químicos. Una investigación no sólo teórica sino práctica porque ha analizado y aplicado su método en numerosos Laboratorios Químicos de la Universidad de Granada.

La importantísima práctica del estudio acometido está fuera de toda duda. Y es que, en los laboratorios se realizan a diario tareas de investigación, docencia o análisis, en las que se manejan una gran diversidad de sustancias y mezclas peligrosas que afectan a la salud de las personas expuestas a ellas y pueden ser motivo de peligrosidad del laboratorio y contaminación del medio ambiente. Esto hace que los laboratorios sean lugares de convivencia con el riesgo, convirtiéndolos, por tanto, en lugares peligrosos. La exposición de personas a sustancias peligrosas en estas instalaciones, entre otros riesgos, es generadora de enfermedades, accidentes e incluso muertes. Desde nuestro punto de vista, en muchos casos, estas lesiones podrían haberse evitado tan sólo mediante un análisis y evaluación adecuados.

Tal y como ha puesto de manifiesto el doctorando, a través de su trabajo de investigación, en la actualidad existen métodos de evaluación de la exposición ambiental a agentes químicos que determinan la concentración ambiental a la que una persona está expuesta y límites de exposición profesional legalmente establecidos. De manera adicional, recientemente, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), ha propuesto metodologías simplificadas para evaluar los riesgos en los laboratorios. Metodologías que, en nuestra opinión, son incompletas porque no tienen en cuenta todos los factores involucrados que generan peligrosidad en un laboratorio. De hecho no son tenidos en cuenta factores como la ventilación, el almacenamiento o, entre otras, las medidas de control implantadas. Este hecho plantea una indefinición en este campo.

A través de este trabajo de investigación el doctorando ha tratado de dar respuesta adecuada a la anterior indefinición planteada. Evaluaremos la peligrosidad de un laboratorio de manera global y en base a dicha evaluación estableceremos una clasificación de la peligrosidad del laboratorio, indispensable para realizar una planificación preventiva siguiendo un criterio técnico. Para probar su funcionalidad, el método de evaluación propuesto se ha aplicado en 40 laboratorios con una tipología de riesgos muy diversa, obteniendo los resultados publicados.

El análisis exhaustivo de la legislación aplicable y de los estudios doctrinales publicados hasta el momento, dejan fuera de toda duda, la seriedad de la investigación acometida.

Y para que conste y surta sus efectos en el expediente correspondiente, expido la presente en

Granada, 9 de mayo de 2012.

Fdo.: Pedro Espinosa Hidalgo

Fdo.: Inmaculada Sánchez Ruiz de Valdivia

*A mi padre, "In memoriam". Por sus enseñanzas
y cariño recibido desde mi infancia.*

*A mi madre por su amor y dedicación.
Por hacer posible que yo hoy esté aquí, por su ayuda cuando la necesito,
por creer siempre en mí.*

*A mis queridos hijos
Laura, Alejandro y Sofía del Carmen quienes,
día a día, me recuerdan lo bello de la vida.*

AGRADECIMIENTOS

Quede aquí constancia de mi más sincero agradecimiento:

A Pedro Espinosa Hidalgo, Director de esta Tesis Doctoral, a quien debo expresar mi gratitud por sus continuas reflexiones sobre la evaluación de la peligrosidad en los laboratorios en pos de aportar calidad a este trabajo. De la misma manera, me gustaría reconocer especialmente su amistad y su constante lucha por un entendimiento interdisciplinar de la prevención de riesgos. Por su confianza en mi persona y profesionalidad. Por su interés y por su entrega. Por ser químico, por ser mi maestro, por todo lo recibido y lo aún por recibir.

A Inmaculada Sánchez Ruiz de Valdivia, Directora de esta Tesis Doctoral, por las enseñanzas recibidas en el campo del Derecho, por haberme sabido transmitir ese sentido, práctico y legal que sólo las personas que tienen una visión global e integradora del tema, conocen, por sus reflexiones y exhaustividad, por sus siempre acertados comentarios y por sus pies de página. Por su gran apoyo y por todo el estímulo recibido para desarrollar y concluir esta tesis. Por las tardes y mañanas compartidas reflexionando sobre su contenido y por todos los proyectos en común realizados, por su amistad y sinceridad, por su ánimo cuando el mío decaía.

A Elías García Rodríguez, mi compañero, por las tantas coincidencias en el pensar técnico y en la interpretación legal, por ser resolutivo y eficaz, por su ayuda en la Dirección del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales y en la Coordinación de tantos programas, por toda la visión de la prevención que tiene y que compartimos, por los objetivos comunes alcanzados, por los cursos en la playa, por su generosidad, por sus conversaciones matutinas, por su amistad.

A Javier Clemente Camacho, higienista industrial, compañero y amigo mío, por enseñarme profesionalmente lo que no viene en los libros y que sólo se transmite a las personas queridas, por su tiempo invertido en mi aprendizaje como técnico, por las horas y horas compartidas en el laboratorio de higiene, por sus siempre sabios consejos, por su amistad y cercanía, aún en la distancia.

A mis hermanas Gema y Mari Carmen y a mi hermano Marco, por contar siempre con su ayuda, por querernos tanto.

*“Cuando las leyes de la matemática se refieren a la realidad, no son ciertas;
cuando son ciertas, no se refieren a la realidad”.*

Albert Einstein (1879-1955)

*“Hasta el Universo infinito es medible,
sólo el Amor es incuantificable”*

RESUMEN

En los laboratorios se realizan, a diario, tareas de investigación, docencia o análisis, en las que se manejan una gran diversidad de sustancias y mezclas peligrosas que afectan a la salud y seguridad de las personas expuestas a ellas y pueden contaminar el medio ambiente. Esto hace que los laboratorios sean lugares de convivencia con el riesgo, convirtiéndolos, por tanto, en lugares peligrosos.

La exposición de personas a sustancias peligrosas en estas instalaciones genera enfermedades, accidentes e incluso muertes. Desde nuestro punto de vista, en muchos casos, estas lesiones pueden evitarse tan sólo mediante un análisis y evaluación adecuados.

En la actualidad existen métodos de evaluación de la exposición ambiental a agentes químicos que determinan la concentración ambiental a la que una persona está expuesta y límites de exposición profesional legalmente establecidos. De manera adicional, recientemente, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), ha propuesto metodologías simplificadas para evaluar los riesgos en los laboratorios que, en nuestra opinión, son incompletas porque no tienen en cuenta todos los factores involucrados que generan peligrosidad en un laboratorio. De hecho no son tenidos en cuenta factores como la ventilación, el almacenamiento o, entre otras, las medidas de control implantadas. Este hecho plantea una indefinición en este campo.

A través de este trabajo de investigación trataremos de dar respuesta adecuada a la anterior indefinición planteada. Evaluaremos la peligrosidad de un laboratorio de manera global y en base a dicha evaluación estableceremos una clasificación de la peligrosidad del laboratorio, indispensable para realizar una planificación preventiva siguiendo un criterio técnico.

Para probar su funcionalidad, el método de evaluación propuesto se ha aplicado en 40 laboratorios con una tipología de riesgos muy diversa, obteniendo los resultados publicados.

SUMMARY

In laboratories daily tasks of research, teaching or testing, in which they handle a wide variety of hazardous substances and mixtures, affect health and safety of people exposed to them and can contaminate the environment. This means that laboratories are places of living with the risk, making it in hazardous locations.

Human exposure to hazardous substances at these facilities produces illnesses, accidents and even deaths. From our point of view, in many cases, these injuries can be prevented by the adequate analysis and the evaluation of the work conditions.

At present there are methods of assessing environmental exposure to chemicals that determine the ambient concentration at which a person is exposed and occupational exposure limits established by law. Additionally, recently the National Institute for Occupational Safety and Health at Work (INSHT), has proposed simplified methodologies for assessing the risks in laboratories, in our opinion, are incomplete because they do not take into account all the factors involved that generate hazard in a laboratory. In fact not taken into account factors such as ventilation, storage or, among others, the control measures implemented. This raises an uncertainty in this field.

Through this research will try to give adequate response to the uncertainty posed above. We will evaluate the danger at laboratories and based on that assessment will establish a classification of the dangerousness of the laboratory, essential for planning preventive following technical criteria.

To test its functionality, the propose devaluation method has been applied in 40 laboratories with a very different type of risk, getting the results published.

ÍNDICE

LA PELIGROSIDAD EN LABORATORIOS QUÍMICOS: MÉTODO PARA SU EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN

HIPÓTESIS.....	19
INTRODUCCIÓN.....	25
La peligrosidad de los laboratorios.....	31
1 MARCO NORMATIVO.....	39
1.1. Normativa legal.....	41
1.1.1. Normativa básica en Prevención de Riesgos Laborales de carácter general.....	43
1.1.2. Normativa específica relacionada con sustancias químicas.....	44
1.2. Normativa técnica.....	70
1.2.1. Normas Una Norma Española (UNE).....	71
1.2.2. Guías Técnicas y Documentación del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).....	75
2 OBJETIVOS.....	81
3 LA PELIGROSIDAD EN LABORATORIOS QUÍMICOS: MÉTODO PARA SU EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	85
3.1 Identificación de peligros.....	92
3.1.1. Recogida de información para la identificación de las variables.....	92
3.2 Definición de parámetros y medición de variables influyentes en la peligrosidad.....	97
3.2.1. Condiciones de aplicación de la metodología.....	97
3.2.2. Parámetro.....	97
3.2.3. Definición de Variables.....	97
3.3 Desarrollo del método. Valoración de variables.....	107
3.3.1. Definición del índice de peligrosidad en al manejo de agentes químicos (IPMAQ).....	107

	<i>3.3.2. Valoración y ponderación de variables.....</i>	110
4	APLICACIÓN DEL MÉTODO A LABORATORIOS.....	149
	4.1. Resultados de los laboratorios evaluados.....	151
	4.2. Resumen de los resultados en los laboratorios evaluados.....	210
5	CONTRASTE DE LA VALIDEZ DEL IPMAQ.....	215
	5.1 Mediciones de la concentración ambiental de agentes químicos.....	217
	5.2. Contraste de la validez del IPMAQ. Valoración del Factor de manejo de las sustancias “k”.....	331
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	335
7	CONCLUSIONES.....	353
8	BIBLIOGRAFÍA.....	363
	ANEXOS.....	371
	ANEXO I: CUESTIONARIO DE ÍNDICES RELACIONADOS CON EL LABORATORIO (IL) Y LA PERSONA (Ir).....	373
	ANEXO II: CUESTIONARIO DE ENTREVISTA PLANEADA.....	377
	ANEXO III: SUSTANCIAS QUÍMICAS EN LOS LABORATORIOS ESTUDIADOS.....	381
	ANEXO IV: PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS EN LABORATORIOS QUÍMICOS (SÓLO DISPONIBLE EN LA VERSIÓN DIGITAL)	

ABREVIATURAS

AET	Asociación Española de Toxicología
BOE	Boletín Oficial del Estado
C1, C2, C3	Confidencial 1, Confidencial 2, Confidencial 3.
CE	Comunidad Europea
COSHH	Control of Substances Hazardous to Health
EC	Exposición Corta
ED	Exposición Diaria
EINECS	European Inventory of Existing Chemical Substances (Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes)
ELINCS	European List of Notified Chemical Substances (Lista Europea de Sustancias Químicas Notificadas)
EPI	Equipo de Protección Individual
FFPP2	Filtros para partículas nivel 2, según Norma EN 149
FPO-MEC	Formación Profesional Ocupacional- Ministerio de Educación
H	Códigos de indicaciones de Peligro según RD 717/2010 (Reglamento CE 1272/2008)
HC	Hidrocarburo
Ia	Índice de peligrosidad debido al almacenamiento de las sustancias químicas
Id	Índice de peligrosidad debido a la protección dérmica
Ie	Índice de riesgo debido a los equipos
If	Índice de formación en prevención de riesgos relacionados con las sustancias químicas
Ih	Índice de peligrosidad debido a las prácticas de higiene personal
IL	Índice de peligrosidad debido al Laboratorio
Ilo	Índice de peligrosidad debido a la extracción localizada de contaminantes químicos
ILO	Internacional Labor Organization
Im	Índice de peligrosidad debido a las instalaciones
INSHT	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
Io	Índice de peligrosidad debido a la protección ocular
IPMAQ	El índice de peligrosidad en al manejo de agentes químicos

Ipr	Índice de peligrosidad debido a la protección respiratoria
Ir	Índice de peligrosidad debido a la persona.
Is	Índice Global de Riesgo de cada sustancia
ISTAS	Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud
Iv	Índice de peligrosidad debido a la ventilación general del laboratorio
k	Factor de manejo de sustancias
LPRL	Ley de Prevención de Riesgos Laborales
MIE-APQ	Ministerio de Industria y Energía-Almacenamiento de Productos Químicos
MTA/MA-	Método de Toma de Muestras/ Muestras Ambientales
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
NTP	Nota Técnica de Prevención
OIT	Organización Internacional del Trabajo
PCB	Policlorobifenilos
PCT	Policloroterfenilos
R	frases de Riesgo
RD	Real Decreto
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances (Registro, evaluación, autorización y restricción de las sustancias y preparados químicos)
RSP	Reglamento de los Servicios de Prevención (RD 39/1997)
S	Consejos de Prudencia
UE	Unión Europea
UNE	Normas Una Norma Española
VLA-EC	Valor Límite Ambiental de Exposición Corta
VLA-ED	Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria
VLB	Valor Límite Biológico

HIPÓTESIS

En los laboratorios se realizan a diario tareas de investigación, docencia o análisis, en las que se manejan una gran diversidad de sustancias¹ y mezclas² peligrosas que afectan a la salud de las personas expuestas a ellas y pueden ser motivo de peligrosidad del laboratorio y contaminación del medio ambiente. Esto hace que los laboratorios sean lugares de convivencia con el riesgo, convirtiéndolos, por tanto, en lugares peligrosos³.

La exposición de personas a sustancias peligrosas en estas instalaciones, entre otros riesgos⁴, es generadora de enfermedades⁵, accidentes e incluso muertes. Desde nuestro punto de vista, en muchos casos, estas lesiones podrían haberse evitado tan sólo mediante un análisis y evaluación adecuados.

Esta siniestralidad, importante en nuestra opinión, se ha relegado por varias razones:

- Porque, en nuestro sistema de salud público (Sistema Nacional de Seguridad Social) y privado, es difícil establecer, en la mayoría de los casos, el nexo de unión entre la enfermedad que se origina y la exposición a alguna o algunas sustancias químicas. Las susceptibilidades individuales son diferentes y no todas las personas respondemos de la misma manera e intensidad. Y es que, estamos hablando de “la probable” aparición de enfermedades que pueden manifestarse tras un largo periodo de exposición al agente químico⁶. Esta “no-aparición” de efectos adversos “instantáneos” es, junto con la complejidad de establecer tal nexo causal, en nuestra opinión, los principales factores que han hecho relegar a un segundo plano la importancia del tema en cuestión⁷.

Baste como dato el que si ya de por sí resulta alarmante la cifra media de 1.000 muertes anuales en España por accidente de trabajo, parece estar escondido la estimación de entorno a 5.000 muertes por cáncer de origen laboral en España.⁸

¹ La definición de sustancia es la establecida en el Reglamento (CE) n° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n° 1907/2006, art. 2 Definiciones: “Sustancia es un elemento químico y sus compuestos naturales o los obtenidos por algún proceso industrial, incluidos los aditivos necesarios para conservar su estabilidad y las impurezas que inevitablemente produzca el procedimiento, con exclusión de todos los disolventes que puedan separarse sin afectar a la estabilidad de la sustancia ni modificar su composición”.

² Según el Reglamento anteriormente citado, “Mezcla es una mezcla o solución compuesta por dos o más sustancias”.

³ Que tiene riesgo o puede ocasionar daño. Capacidad de provocar daño. Fuente: Diccionario de la lengua española. Real Academia Española

⁴ Además del riesgo de exposición a agentes químicos destacamos el de incendio, explosión y el del daño al medio ambiente.

⁵ Véase en el anexo I: “toxicología para laboratorios”, las principales enfermedades causadas por los agentes químicos en función de su peligrosidad. Adicionalmente, en la parte de Introducción de nuestra tesis, se aportan los datos de Enfermedades Profesionales relacionadas con los agentes químicos en España.

⁶ Este es el caso de las exposiciones a compuestos cancerígenos y mutagénicos.

⁷ Para más información respecto a la estimación véase: JDoll R, Peto R. (National Cancer Institute (EEUU)). 1981 Jun;66(6):1191-308. The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today.

- Porque nuestro sistema de salud público (Sistema de Seguridad Social) y privado no contempla de una manera rigurosa el diagnóstico de enfermedades profesionales⁹. De hecho, muchas de estas enfermedades pasan inadvertidas y son clasificadas como patologías comunes¹⁰; no siendo, por tanto, declaradas como tales.
- En España tenemos lo que se viene a llamar “una lista “cerrada” de enfermedades profesionales¹¹, existiendo la posibilidad de existencia de enfermedades contraídas en el trabajo y que no están listadas¹², clasificándose en este caso, de existir, como accidente de trabajo¹³ y no como enfermedad profesional propiamente dicha.

⁹ Se entenderá por enfermedad profesional la contraída a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena en las actividades que se especifiquen en el cuadro que se apruebe por las disposiciones de aplicación y desarrollo de esta Ley (Ley General de Seguridad Social), y que esté provocada por la acción de los elementos o sustancias que en dicho cuadro se indiquen para cada enfermedad profesional.

¹⁰ Patologías comunes son aquellas cuyo origen no es laboral acorde con la Ley General de Seguridad Social.

¹¹ El cuadro al cual hace referencia es el publicado por RD 1296/2006 por el que se establece el listado de Enfermedades Profesionales.

¹² Es usual denominar a este tipo de patologías como enfermedades laborales para distinguirlas de las profesionales recogidas en el RD 1296/2006.

¹³ Según el Real Decreto Legislativo 1/1994, de 20 de junio, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de la Seguridad Social, art.114 : Concepto de Accidente de trabajo:

1. Se entiende por accidente de trabajo toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecute por cuenta ajena.
2. Tendrán la consideración de accidentes de trabajo:
 - a. Los que sufra el trabajador al ir o al volver del lugar de trabajo.
 - b. Los que sufra el trabajador con ocasión o como consecuencia del desempeño de cargos electivos de carácter sindical, así como los ocurridos al ir o al volver del lugar en que se ejerciten las funciones propias de dichos cargos.
 - c. Los ocurridos con ocasión o por consecuencia de las tareas que, aun siendo distintas a las de su categoría profesional, ejecute el trabajador en cumplimiento de las órdenes del empresario o espontáneamente en interés del buen funcionamiento de la empresa.
 - d. Los acaecidos en actos de salvamento y en otros de naturaleza análoga, cuando unos y otros tengan conexión con el trabajo.
 - e. Las enfermedades, no incluidas en el artículo siguiente, que contraiga el trabajador con motivo de la realización de su trabajo, siempre que se pruebe que la enfermedad tuvo por causa exclusiva la ejecución del mismo.
 - f. Las enfermedades o defectos, padecidos con anterioridad por el trabajador, que se agraven como consecuencia de la lesión constitutiva del accidente.
 - g. Las consecuencias del accidente que resulten modificadas en su naturaleza, duración, gravedad o terminación, por enfermedades intercurrentes, que constituyan complicaciones derivadas del proceso patológico determinado por el accidente mismo o tengan su origen en afecciones adquiridas en el nuevo medio en que se haya situado el paciente para su curación.
3. Se presumirá, salvo prueba en contrario, que son constitutivas de accidente de trabajo las lesiones que sufra el trabajador durante el tiempo y en el lugar del trabajo.
4. No obstante lo establecido en los apartados anteriores, no tendrán la consideración de accidente de trabajo:
 - a. Los que sean debidos a fuerza mayor extraña al trabajo, entendiéndose por ésta la que sea de tal naturaleza que ninguna relación guarde con el trabajo que se ejecutaba al ocurrir el accidente.
En ningún caso se considerará fuerza mayor extraña al trabajo la insolación, el rayo y otros fenómenos análogos de la naturaleza.
 - b. Los que sean debidos a dolo o a imprudencia temeraria del trabajador accidentado.
5. No impedirán la calificación de un accidente como de trabajo:
 - a. La imprudencia profesional que es consecuencia del ejercicio habitual de un trabajo y se deriva de la confianza que éste inspira.
 - b. La concurrencia de culpabilidad civil o criminal del empresario, de un compañero de trabajo del accidentado o de un tercero, salvo que no guarde relación alguna con el trabajo.

Esta infra-declaración es conocida, incluso, por la Administración y organizaciones sindicales¹⁴, pero, no lo dudemos, hay daños a la salud en las personas que a diario manipulan productos químicos e incluso muertes por exposiciones a ellos.

Puesto de manifiesto este gran problema, trataremos de dar respuesta a una serie de retos que nos asisten.

El primero de ellos tiene que ver con la posibilidad de evitar estos daños a la salud por exposición a agentes químicos en laboratorios y de cómo evitarlos.

Prevenir es, ante todo, evitar el riesgo. De hecho, la actividad en un laboratorio implica tener el riesgo de exposición a sustancias químicas. Si se puede evitar trabajar con las más peligrosas, mejor. De hecho, sustituir lo peligroso por lo menos peligroso o que no entrañe peligro es el primer mandato de la acción preventiva¹⁵. Con los riesgos que no podemos evitar hay que evaluar su magnitud, para que, en función de la magnitud del riesgo obtenido, se prioricen las medidas preventivas y organizativas.

En los riesgos de exposición a sustancias químicas en los laboratorios hay exposiciones que entrañan mayor riesgo y ese riesgo no sólo depende de las sustancias, si no también de las medidas de control disponibles en el laboratorio y de las personas que están expuestas.

En la actualidad existen métodos¹⁶ de evaluación de la exposición ambiental a agentes químicos¹⁷ que determinan la concentración ambiental a la que una persona está expuesta y límites de exposición profesional legalmente establecidos¹⁸. De manera adicional, recientemente, el INSHT, ha propuesto metodologías simplificadas para evaluar los riesgos en los laboratorios¹⁹.

¹⁴ Así, acorde con el estudio presentado por el sindicato UGT, se afirma rotundamente en el informe publicado Enero-Septiembre de 2009 que: "sigue produciéndose una baja declaración de Enfermedades Profesionales en España".

¹⁵ Véase art. 15, a) de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales

¹⁶ Véase el listado de normas UNE para el análisis de agentes químicos en aire que se adjunta como anexo de esta investigación.

¹⁷ Acorde con la definición establecida en el REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo., art. 2, Agente químico es: todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no.

¹⁸ En nuestro estudio se hace un análisis pormenorizado del RD 374/2001 donde se hace referencia a los citados límites de exposición profesional.

¹⁹ Véase:

NTP 749: Evaluación del riesgo de accidente por agentes químicos. Metodología simplificada.

NTP 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología simplificada.

Metodologías que, en nuestra opinión, son incompletas porque no se tienen en cuenta todos los factores involucrados que generan peligrosidad en un laboratorio. De hecho no son tenidos en cuenta factores como la ventilación, el almacenamiento o, entre otras, las medidas de control implantadas. Este hecho plantea una indefinición en este campo.

A través de este trabajo de investigación pretendemos responder adecuadamente a la anterior indefinición planteada. Conocer la peligrosidad de un laboratorio es indispensable para garantizar la seguridad y la salud de las personas que lo ocupan.

HIPÓTESIS

Es posible evaluar y clasificar los laboratorios químicos según su peligrosidad mediante un índice, sin que sea necesario medir concentraciones ambientales de las sustancias con las que se trabaja.

El método desarrollado permite la evaluación de la peligrosidad de los laboratorios químicos de manera global, incluyendo los factores imprescindibles a tener en cuenta para realizar una planificación preventiva adecuada en los mismos.

Para probar su funcionalidad, el método propuesto se ha aplicado en 40 laboratorios con una tipología de riesgos muy diversa.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.

El medio ambiente en el cual nos desenvolvemos es, cada día más, objeto de nuestra atención. Continuamente nos vemos sorprendidos por noticias impactantes en las que la contaminación de la atmósfera, los alimentos o el agua han afectado a una determinada población a la calidad del aire o las aguas que nos rodean, a la fauna, etc. El medio ambiente laboral, como parte integrante de ese medio ambiente, por las características particulares del mismo, y debido, principalmente, al desarrollo industrial y tecnológico de nuestra sociedad, ha sido y es, en la actualidad, uno de los factores principales de contribución a la contaminación agrediendo, no sólo al medio que nos rodea, sino, también por extensión, dañando la salud de las personas que estamos inmersos en él.

Según datos oficiales, en el año 2010 se registraron en España 731 enfermedades profesionales¹ por exposición a agentes químicos y 25 casos de enfermedades profesionales por agentes cancerígenos (véase Imagen 1). Estos datos varían sensiblemente cuando, adentrándonos en el tema, podemos ver la existencia de estudios estimativos² en donde se sospecha que, aproximadamente, entre el 4 y el 8,4 % de las muertes por cáncer son de origen laboral³. Estas cifras varían en función del tipo de cáncer, habiéndose descrito porcentajes de hasta el 15% para los cánceres de pulmón. Combinando estas estimaciones con las cifras de mortalidad por cáncer en España⁴ (100.189 muertes) se podría estimar que en el año 2009 se produjeron en España entre 4.000 y 8.400 muertes como consecuencia de la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo⁵. A pesar de todas las reservas y salvedades con las que se deben manejar estos datos, nos encontramos frente a unas cifras que estarían a la cabeza entre las causas de mortalidad laboral, muy por encima de los datos por todos conocidos sobre muertes debidas a accidentes de trabajo.

En los laboratorios, objeto de nuestro estudio, es este un tema de especial preocupación debido, entre otras causas, a la gran cantidad de productos químicos con las que se trabaja, a la enorme diversidad de los mismos (tengamos en cuenta que existen, en la actualidad, 100.196

¹ Datos extraídos del Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Año 2010. Véase <http://www.meyss.es>

² JDoll R, Peto R. National Cancer Institute (EEUU). 1981 Jun;66(6):1191-308. The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today.

³ Alba Hidalgo, M.A: "La exposición laboral a agentes químicos cancerígenos". Revista MAPFRE seguridad. N° 105, primer trimestre de 2007.

⁴ Según el Instituto Nacional de Estadística, fueron 100.189 muertes las causadas por tumores malignos.

⁵ Estas estimaciones pueden variar según los autores. Mencionamos a continuación las 8000 muertes estimadas debidas a cáncer de origen laboral en España en 1999. Para más información véase: García, Ana M. y Gadea, R.: "Estimación de la mortalidad y morbilidad por enfermedades laborales en España.". 1999. Arch Prev Riesgos Labor 2004; 7 (1): 3-8. ISTAS.

sustancias diferentes en el EINECS⁶) y al gran desconocimiento de los riesgos que para la salud humana generan.

Imagen 1: Partes comunicados de enfermedad profesional por grupo de enfermedad. Fuente: Ministerio de Trabajo e Inmigración. Año 2010

	CON BAJA	SIN BAJA	TOTAL	% SOBRE TOTAL ENFERMEDADES
GRUPO 1: AGENTES QUÍMICOS				
2007	502	239	741	4,36%
2008	695	310	1.005	5,37%
2009	483	292	775	4,62%
2010	439	292	731	4,34%
GRUPO 2: AGENTES FÍSICOS				
2007	9.607	4.574	14.181	83,37%
2008	9.533	5.515	15.048	80,47%
2009	7.519	5.765	13.284	79,13%
2010	7.111	6.800	13.911	82,59%
GRUPO 3: AGENTES BIOLÓGICOS				
2007	228	67	295	1,73%
2008	297	196	493	2,64%
2009	441	220	661	3,94%
2010	208	169	377	2,24%
GRUPO 4: INHALACIÓN				
2007	342	196	538	3,16%
2008	547	303	850	4,55%
2009	473	399	872	5,19%
2010	427	398	825	4,90%
GRUPO 5: ENFERMEDADES DE LA PIEL				
2007	835	405	1.240	7,29%
2008	808	434	1.242	6,64%
2009	700	448	1.148	6,84%
2010	566	407	973	5,78%
GRUPO 6: AGENTES CARCINÓGENOS				
2007	11	4	15	0,09%
2008	46	16	62	0,33%
2009	32	15	47	0,28%
2010	14	11	25	0,15%

Este alto grado de utilización de sustancias es fruto, sin duda alguna, de los avances sociales y del desarrollo científico y tecnológico; productos plaguicidas, conservantes alimentarios, detergentes, desinfectantes, medicamentos, y un largo etcétera componen la lista. Pero no lo dudemos, este hecho hace que sean cada vez mayor el número de personas expuestas a dichas sustancias en su día a día y, como no, en su trabajo cotidiano. Recordemos que muchas de estas sustancias son peligrosas para la salud humana y destacan entre ellas las de carácter

⁶ EINECS, nombrado por las iniciales de European Inventory of Existing Chemical Substances (Inventario Europeo de Sustancias Químicas Existentes), es un número de registro dado a cada sustancia química comercialmente disponible en la Unión Europea entre el 1 de enero de 1971 y el 18 de septiembre de 1981. Este inventario fue creado por la Directiva 67/548/EEC en lo concerniente al etiquetado de sustancias peligrosas: el número EINECS debe aparecer en la etiqueta y en el empaque de sustancias peligrosas. A partir del 19 de septiembre de 1981, el inventario ha sido reemplazado por la ELINCS (European List of Notified Chemical Substances, o Lista Europea de Sustancias Químicas Notificadas). A todas las sustancias "nuevas" que ingresan al mercado europeo se les asigna un número ELINCS tras su notificación a la Comisión Europea. El número ELINCS también es obligatorio en etiquetas y empaques. Actualmente se prefiere el término número EC frente a las designaciones "número EINECS/ELINCS", pero no debe confundirse con los números EC de la Comisión de Enzimas (Enzyme Commission).

cancerígeno y mutagénico.⁷ Todo ello, unido a las graves consecuencias que puede tener la exposición a ciertas sustancias, ha generado una conciencia social del riesgo, que últimamente está generando diversas actuaciones desde diferentes ámbitos sociales⁸. Como consecuencia directa, España ha ido desarrollando una legislación que intenta actuar sobre los diferentes ámbitos en donde se utilizan y generan tales contaminantes por medio de una normativa que transpone las directrices europeas que existen en la materia. Dicha normativa refuerza el desarrollo de la actividad preventiva y protectora necesaria para garantizar, suficientemente y de manera eficaz, la seguridad y la salud de todas las personas que, en general, estamos expuestas a sus riesgos y, como no, de manera especial, a las personas que en su trabajo diario están expuestas a ellas en los laboratorios.

En España, La Ley de Prevención de Riesgos Laborales de 1995 (en adelante LPRL), transposición al derecho español de la Directiva 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores en el trabajo, establece los principios generales relativos a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva.

Una Ley tras la cual proliferó un desarrollo normativo muy abundante en materia preventiva. A partir del año 1995, se promulgaron varios Reales Decretos y Leyes⁹ que vinieron a desarrollar, entre otros aspectos, las políticas de prevención de riesgos laborales a implantar en las empresas, pero no fue hasta el año 2001 donde se reglamentó la protección de la seguridad y salud de los trabajadores por exposición a agentes químicos.

La Administración, como otra “empresa” más, aunque con sus particularidades, no podía ser menos. De hecho, dentro de la administración, fueron las Universidades, en general, de las primeras instituciones en adoptar los sistemas de prevención a los que se refiere la ley de PRL.

⁷ Este concepto es tratado con mayor amplitud en el artículo publicado: Sicilia Gutiérrez, F., “Adquisición de sustancias peligrosas. Criterios básicos”. MAPFRE Seguridad, nº 68, 4º Trimestre 1997. Adicionalmente, de manera ampliada, se exponen en el anexo IV de Toxicología las características cancerígenas y mutagénicas de los contaminantes más habituales en los laboratorios químicos.

⁸ Existe un movimiento, cada día más palpable, que lucha contra la contaminación química. Por un lado, el gobierno legisla ampliamente sobre el tema, por otro existe asociaciones no gubernamentales como Green Peace que vienen denunciando los problemas de contaminación desde su fundación en España, hace ahora 25 años (1984-2009) y luchan por advertirnos sobre los riesgos de una sociedad cada vez más “química”. Más información en www.greenpeace.org

⁹ En el siguiente capítulo hemos tratado de actualizar la normativa existente en materia de sustancias químicas.

La Universidad de Granada, institución en la cual desarrollo actualmente mi trabajo, es consciente de los peligros a los que se ve expuesta una parte de la comunidad universitaria como consecuencia, entre otros factores, del uso de sustancias peligrosas en laboratorios de docencia e investigación. La necesidad de respuesta preventiva a hechos como este hizo que a finales de 1997, se creara el Gabinete de Prevención y Calidad Ambiental¹⁰ dentro del cual quedó integrado el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, que vino a incluir en él al Servicio de Salud Laboral que estaba en funcionamiento desde 1994. El Servicio de Prevención de Riesgos Laborales está abordando la prevención de riesgos de una manera integrada en todos los ámbitos, tratando de dar respuesta a los retos planteados por la citada Ley de Prevención, fomentando una cultura preventiva en toda la comunidad universitaria y sentando las bases de actuación.

Desde el punto de vista de la organización en las empresas (y la Universidad de Granada es, salvando las diferencias, otra más), uno de los Reales Decretos que desarrolló los contenidos establecidos en la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales –nos referimos al R.D. 39/1997 por el que se desarrolla el Reglamento Servicios de Prevención-, (en adelante RSP) establece que, dentro del campo de esta prevención, está la prevención de patologías relacionadas con la exposición laboral a agentes químicos (fin último de nuestra tesis), siendo función del Higienista Industrial su puesta en marcha y ejecución.

El gran número de laboratorios existentes en la Universidad de Granada ha centrado desde un principio nuestra atención con el objetivo de mejorar las condiciones de trabajo en todos ellos.

Esta prevención técnica que hacemos y que nos encomienda la LPRL y el RSP ha de comprender las siguientes etapas:

- 1) *Identificación de los factores ambientales que influyen sobre la salud de los trabajadores*, lo que implica un conocimiento profundo de los productos, los métodos de trabajo, los procesos y las instalaciones.
- 2) *Evaluación de los riesgos a corto y largo plazo*, a través de la objetivación de las condiciones ambientales y su comparación con los estándares máximos o promedios admisibles. Para ello, será necesario la aplicación de las técnicas de muestreo y/o

¹⁰ Dicho Gabinete se ha reconvertido actualmente en varios Servicios que lo integran: Servicio de Prevención de Riesgos Laborales, Servicio de Protección Radiológica y Unidad de Calidad Ambiental. El Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad de Granada dispone de una página web. Para más información, puede consultarse la siguiente dirección: http://vcabd.ugr.es/pages/servicio_prevencion_riesgos_laborales/index

medición directa y en su caso el análisis de las muestras a través de la Higiene Analítica, siendo necesaria la obtención de mediciones y muestreos que sean representativos del riesgo a que se ven expuestos los trabajadores. Únicamente así pueden diseñarse los sistemas de control más eficaces y económicos.

- 3) *Control de los riesgos*, de acuerdo con los datos obtenidos en las fases anteriores. Las medidas correctoras vendrán dadas según los casos: sustitución de los productos o procesos, medidas de ingeniería como la ventilación, reducción de los tiempos de exposición o utilización de equipos de protección individual.

Esta Tesis pretende que la metodología propuesta sea una herramienta para evaluar la peligrosidad en laboratorios de universidades y empresas para que estas tres etapas comentadas sean llevadas a cabo de la manera más optimizada y real posible.

La peligrosidad en los laboratorios

A la hora de abordar el estudio de la peligrosidad de un laboratorio, en relación con la exposición a uno o varios contaminantes, cabe decir que son muchas las variables que influyen en la peligrosidad del mismo. Desde un punto de vista global e integrador, hay que tener en consideración que, para controlar una determinada exposición a una situación “peligrosa” en un laboratorio, se puede actuar en tres grandes líneas: foco (productos químicos), medio (laboratorio) y receptor (persona).

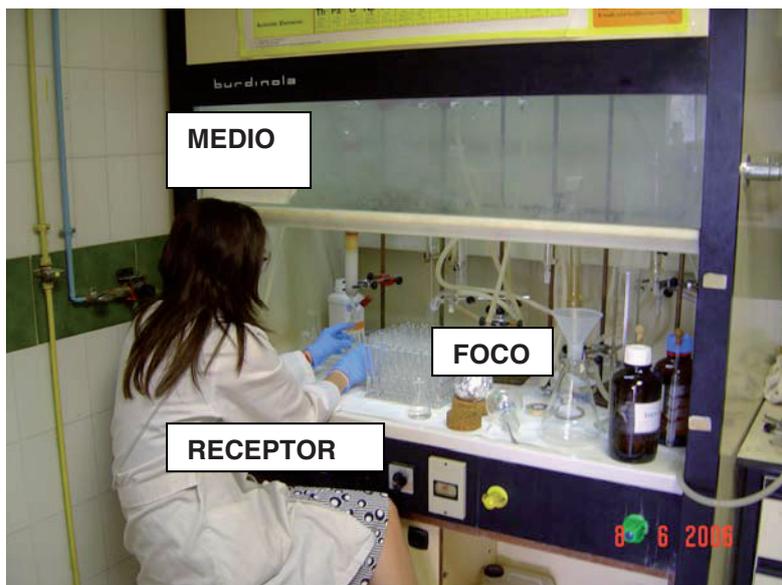


Imagen 2. Foco (Sustancias Peligrosas), Medio (Laboratorio), Receptor (Persona)

Parece bastante lógico pues que, para su estudio pormenorizado, clasifiquemos las variables que pueden influir en la peligrosidad en los tres grupos siguientes:

Variables relacionadas con las sustancias manejadas. Foco.

Variables relacionadas con las instalaciones (Laboratorio). Medio.

Variables relacionadas con la persona. Receptor.

Procedamos a su desarrollo.

Variables relacionados con las sustancias manejadas. Foco.

El trabajo en el laboratorio químico es muy variado: puede implicar la manipulación de sustancias peligrosas en cantidades del orden de microgramos, si se trata de la rama analítica, o puede que sea necesario trabajar con kilogramos de productos si estudian procesos en planta piloto; puede que se conozcan las características de los productos con los que se trabaja, como es el caso del control de procesos industriales, o puede que se trate de un producto nuevo cuyas propiedades no sea totalmente conocidas, si se trabaja en síntesis orgánica. Pero salvando las diferencias propias debidas a su tarea específica, el denominador común de toda persona que trabaja en un laboratorio químico es la relación directa y constante con sustancias peligrosas.

Las variables relacionadas con las sustancias manejadas que han de tenerse en cuenta son:

- *Peligrosidad de la sustancia química:*
 - Que implica características de: Inflamabilidad, toxicidad, explosividad, corrosividad, peligrosidad para el medio ambiente, comburencia, irritabilidad, nocividad.
 - *Estado de agregación de la sustancia. (Sólida, líquida o gas).*
- *Tendencia a pasar al medio ambiente: Volatilidad y grado de pulverulencia.*
- *Cantidad usada.*

Todas ellas, serán tenidas en cuenta en nuestra propuesta metodológica. No obstante, de las características relacionadas directamente con los contaminantes químicos anteriores hay que tener en cuenta que, con respecto a la peligrosidad de los mismos, la mayoría producen efectos

perjudiciales a partir de cierta dosis (“cantidad”), por lo que se puede trabajar en contacto con ellos por debajo de esa dosis, sin que aparezcan efectos irreversibles en la mayor parte de los casos, pero, en cambio, existen ciertos contaminantes, de reconocido potencial carcinogénico y mutagénico, que pueden provocar la aparición de la enfermedad incluso a pequeñas dosis. Esta especial característica debe plasmarse en el método para poner de manifiesto la especial peligrosidad en estos casos.

Imagen 3. Pictogramas de riesgo de sustancias peligrosas acorde con el RD 363/1995, derogado por el actual Reglamento (CE) nº 1272/2008.

CÓDIGO H	PALABRA DE RIESGO	LETRA	PICTOGRAMA	CÓDIGO H	PALABRA DE RIESGO	LETRA	PICTOGRAMA
H1	Explosivo	E		H8	Corrosivo	C	
H2	Comburente:	O		H9	Infecioso		
H3a	Fácilmente inflamable	F+		H10	Toxico para la reproducción	T	
H3b	Inflamable	F		H11	Mutagénico		(1)
H4	Irritante	XI		H12	Sustancias que emiten gases tóxicos	T	
H5	Nocivo	Xn		H13	Sustancias o preparados susceptibles, después de su eliminación, de dar lugar a otra sustancia por un medio cualquiera, por ejemplo un lixiviado, que posea alguna de las características enumeradas anteriormente.		(2)
H6	Tóxico	T					
H7	Carcinogénico		(1)	H14	Peligroso para el medio ambiente	N	

(1) En general, a los residuos que tienen este riesgo les es atribuible el riesgo de Tóxico, por tanto procede asignar el pictograma de Tóxico.

(2) El pictograma que le corresponde es aquel asociado a la(s) característica(s) de peligrosidad de la sustancia generada

Recientemente¹¹, se ha aprobado el Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, que ha supuesto la aplicación en la Unión Europea del Sistema Globalmente Armonizado (SGA), adoptado en Ginebra y que es el sistema mundial armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. Se acomoda a la reciente normativa del Reglamento (CE) nº 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH). Este Reglamento tiene consecuencias muy importantes en la nueva definición y clasificación de los peligros. Se adjunta a continuación los nuevos pictogramas de riesgo que aparecen en el etiquetado de los envases acorde con la normativa actualmente vigente:

¹¹ Hace referencia al Real Decreto 717/2010, de 28 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas y el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

Imagen 4. Pictogramas de riesgo de sustancias peligrosas acorde con el Reglamento (CE) nº 1272/2008, actualmente en vigor.

	Agrupación de los peligros para la salud más graves a largo plazo, efectos carcinógenos, mutágenos y tóxicos para la reproducción, sensibilización respiratoria...
	Advertencia de menor intensidad para los casos de toxicidad o lesiones.
	Riesgo por ser un envase a presión. No existía un símbolo para alertar de los riesgos de los envases a presión, gas comprimido...: hasta ahora a los peligros de este tipo únicamente les correspondían frases de peligro
	Se reserva exclusivamente para los casos de toxicidad aguda, de consecuencias inmediatas.
	Alerta de que es un producto corrosivo, que por contacto destruye la piel u otros tejidos vivos.
	Avisa del riesgo de inflamabilidad
	Comburente: favorece la inflamabilidad y aviva el fuego.
	Este símbolo alerta del riesgo de explosión de la sustancia.
	Avisa del alto poder contaminante, del riesgo para el medio ambiente.

Las novedades que incorpora el Reglamento europeo también se ponen de manifiesto en las frases de precaución y peligro asociadas (anteriormente llamadas frases “R” y frases “S”) – aspecto que abordaremos con mayor profundidad en el apartado 3.3. *Desarrollo de la metodología. Valoración de variables.* Además, este cambio corresponde a un proceso

armonizado a escala mundial que acabará con la situación actual contradictoria en la que la misma sustancia puede tener una consideración de peligrosidad distinta en Europa, Estados Unidos, Asia, etc...

La novedad, actualidad y complejidad se pone de manifiesto en un tema que para Europa es importante: abordar de manera global la toxicología de las sustancias y sus grados de peligrosidad por las dañinas repercusiones que éstos pueden tener sobre la salud¹² de las personas de todo el mundo y sobre el medio ambiente.

En el “*Anexo IV: Toxicología en laboratorios químicos*”, se ha incluido un estudio de los aspectos más relevantes sobre esta ciencia de toxicología que repercuten directamente en el trabajo en laboratorios. Debido a su extensión se ha aportado sólo en la versión digital de nuestra tesis.

Además, para poder abordar de manera científica y detallada el impacto de los mismos sobre la peligrosidad del laboratorio, en el punto *3.3. Desarrollo de la metodología. Valoración de variables*, dentro del punto *3.3.2.1. Variables relacionadas con el contaminante químico manejado* se definen las “*Variables relacionadas con el contaminante químico manejado*” basado en el Índice de riesgo potencial global de las sustancias manejadas: “*Is*¹³”. En dicho apartado se desarrolla con mayor profundidad todos los factores a tener en cuenta para la evaluación del impacto sobre la peligrosidad en el laboratorio de este factor.

Variables relacionadas con las instalaciones (Laboratorio). Medio.

Las variables que influyen en la peligrosidad de un laboratorio relacionados con las instalaciones y los equipos de trabajo que han de tenerse en cuenta son:

- *Almacenamiento de sustancias peligrosas*
- *Ventilación general*
- *Extracción localizada*
- *Posibilidad de encerrar la fuente de emisión y forma de manejar y aplicar las sustancias químicas.*
- *Instalaciones: eléctrica, de gases, protección contra incendios e iluminación.*
- *Equipos de trabajo*

¹² En el apartado 1.1. Normativa legal, se puede apreciar el alto nivel de desarrollo normativo existente en España.

¹³ Is: es Índice de riesgo potencial global de las sustancias manejadas – (índice que tiene en cuenta la peligrosidad de la sustancia acorde con su frase “H”, (anteriores frases de riesgo “R”), la tendencia a pasar al ambiente y la cantidad de sustancia usada).

Parece lógico tener en cuenta la influencia de estas variables a la hora de abordar la peligrosidad en el manejo de productos químicos. Así, por ejemplo, el grado de peligrosidad no es el mismo si se trabaja en un laboratorio donde las medidas de control técnico de la exposición (como puede ser la ventilación) están implantadas, que si se trabaja en otro en donde tal aspecto no haya sido tenido en cuenta.

Estas incorporaciones novedosas –a la vista de las propuestas metodológicas formuladas por el INSHT¹⁴- persiguen un claro objetivo: proporcionar un enfoque global del problema para aportar soluciones igualmente globales. Pronto tendremos ocasión de comprobar cómo, en el desarrollo de nuestro estudio y propuesta metodológica, estos y otros aspectos son tenidos en cuenta, valorando su aportación en el control de la exposición a dichos productos químicos. Son ampliamente descritos en el punto *3.3.2. Definición de la metodología desarrollada. El índice de peligrosidad en al manejo de agentes químicos (IPMAQ)*.

Variables relacionadas con el receptor. La persona.

El papel de la persona es fundamental. De todos es sabido que la experiencia en el trabajo que se realiza, proporcionada por la formación e información recibidas, es esencial en el control de accidentes, incidentes y enfermedades por exposición a agentes químicos. De hecho, en prevención, la formación es una de las líneas que han resultado de las más eficaces a la hora de controlar el riesgo químico¹⁵. Parece pues, igualmente lógico, que dicha formación sea un aspecto más a evaluar y a tener en cuenta en nuestra metodología.

Por destacar otro de entre las anteriores variables, la utilización de Equipos de Protección Individual (EPIs), apropiados al riesgo, también es objeto de nuestro estudio. Su elección y posterior uso por la persona es clave en los procesos de control de la exposición, especialmente en aquellos casos donde se exige el control de esa exposición residual. Sin perjuicio de proceder a desarrollar en el apartado oportuno todos y cada uno de los factores que tomaremos en consideración al realizar el método de evaluación de análisis de la peligrosidad en relación a la persona, los factores a tener en cuenta son los siguientes:

¹⁴ En las propuestas metodológicas del INSHT para el trabajo con productos químicos este aspecto no es tenido en cuenta. Véase NTP 750 para más información.

¹⁵ De hecho, viene expresado como deber empresarial en el REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, en su art. 9 el que el “empresario deberá garantizar que los trabajadores y los representantes de los trabajadores reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos derivados de la presencia de agentes químicos peligrosos en el lugar de trabajo”

- *Protección Respiratoria*
- *Protección dérmica*
- *Protección ocular*
- *Prácticas higiénicas personales*
- *Formación del trabajador*
- *Tiempo de exposición al contaminante*

Igualmente, estos factores son ampliamente descritos en el punto 3.3.2. *Definición de la metodología desarrollada. El índice de peligrosidad en el manejo de agentes químicos (IPMAQ).*

CAPÍTULO 1

MARCO NORMATIVO

1. MARCO NORMATIVO.

1.1. Normativa legal.

La protección de la salud de los trabajadores está ampliamente legislada en la normativa actual siendo, sin lugar a dudas, uno de los temas tratados con mayor profundidad como consecuencia de la incorporación de España a la Unión Europea (UE).

Así, de la presencia de España en la Unión Europea se deriva la necesidad de armonizar nuestra política con la naciente política comunitaria en esta materia, preocupada, cada vez en mayor medida, por el estudio y tratamiento de la prevención de los riesgos derivados del trabajo.

Fruto de dicha incorporación se produjo la modificación del tratado constitutivo de la Comunidad Económica Europea por la llamada Acta Única, a tenor de cuyo artículo 118 A) los Estados miembros vienen, desde su entrada en vigor, promoviendo la mejora del medio de trabajo para conseguir el objetivo antes citado de armonización en el progreso de las condiciones de seguridad y salud de los trabajadores. Este objetivo se ha visto reforzado en el Tratado de la Unión Europea mediante el procedimiento que en el mismo se contempla para la adopción, a través de Directivas, de disposiciones mínimas que habrán de aplicarse progresivamente.

Consecuencia de todo ello ha sido la existencia de un acervo jurídico europeo sobre protección de la salud de los trabajadores en el trabajo. De las directivas que lo configuran la más significativa es sin duda la Directiva Marco 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores en el trabajo, que contiene el marco jurídico general en el que opera la política de prevención comunitaria, transpuesta al derecho español por la Ley 31/1995.

En relación con nuestro estudio, procede destacar¹ la Directiva 98/24/CE del Consejo, de 7 de abril de 1998, relativa a la protección de la salud y seguridad los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, transpuesta al derecho español mediante Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, BOE num. 104 y la Directiva 2000/39/CE, de la

¹ Otras directivas cuya materia han exigido la transposición en una norma de rango legal, son: la 92/85/CEE, 94/33/CEE y 91/383/CEE, relativas a la protección de la maternidad y de los jóvenes y al tratamiento de las relaciones de trabajo temporales, de duración determinada y en empresas de trabajo temporal

Comisión, de 8 de junio, por la que se establecen las medidas preventivas a tener en cuenta en el trabajo con sustancias peligrosas y, entre otros aspectos relevantes, aparece la primera lista de valores límite de exposición profesional indicativos. Además, no hay que olvidar que, junto a todo ello, España ha contraído compromisos con la Organización Internacional del Trabajo (OIT) a partir de la ratificación del convenio 155, sobre seguridad y salud de los trabajadores y medio ambiente de trabajo, mediante Instrumento de 26.7.1985 (Jef. Est., (BOE 11.11.1985), que enriquecen el texto legal al incorporar sus prescripciones y darles el rango legal adecuado dentro de nuestro sistema jurídico.

Así, en el art. 40 de la Constitución Española, contenido en el capítulo 3º del Título I, contiene un expreso y claro mandato a los poderes públicos en relación a la seguridad e higiene en el trabajo con un mandato expreso en el apartado segundo del artículo 40.

CONSTITUCIÓN ESPAÑOLA

Artículo 40

2. Asimismo, los poderes públicos fomentarán una política que garantice la formación y readaptación profesionales; velarán por la seguridad e higiene en el trabajo y garantizarán el descanso necesario, mediante la limitación de la jornada laboral, las vacaciones periódicas retribuidas y la promoción de centros adecuados.

A este mandato, referido a la necesidad de desarrollar una política de protección de la seguridad y de la salud en el ámbito del trabajo, obedecen ciertas disposiciones específicas, fundamentalmente², la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales y la normativa que lo desarrolla.

Una vez realizada esta introducción normativa y dada la amplitud de referencias encontradas en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo, procede realizar un trabajo de síntesis que relacione y distinga la normativa legal española existente con el tema en estudio de la evaluación de la peligrosidad por exposición a contaminantes químicos en laboratorios,

² Podríamos destacar también las referencias observadas en el Estatuto de los Trabajadores y en la Ley General de Seguridad Social

comentando brevemente en cada una de ellas qué aspectos son los relevantes y de aplicación en nuestro caso.

La normativa legal existente se puede, en líneas generales, dividir en dos grandes bloques:

Normativa legal básica en prevención de riesgos laborales, de carácter general.

Normativa legal directamente relacionada con las sustancias químicas, de carácter específico.

1.1.1. Normativa legal básica en prevención de riesgos laborales.

En la exposición a agentes químicos y en el control de los mismos en los laboratorios cabe hacer alusión en primer lugar, a una normativa básica en prevención de riesgos laborales, aplicable con carácter general, en segundo lugar, a una normativa específica, enormemente prolija, relativa a las sustancias químicas y, en tercer y último lugar, a una normativa de carácter transversal que le puede afectar.

Destacamos, a continuación, algunas de las disposiciones básicas aplicables más significativas y que contienen consideraciones con respecto al tema de exposición a agentes químicos y control de los riesgos en el ámbito de la Universidad³.

- Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de riesgos Laborales, (BOE 10.11.1995)⁴.
- R.D. 39/1997 de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, (BOE 31.1.97).
- R.D. 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo, (BOE 23.4.97)⁵.
- R.D. 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, (BOE 23.4.97.)⁶

³ En este sentido, cabría decir que desde el Ministerio de Educación se ha creado una Comisión de Prevención de Riesgos en el Ámbito universitario a la cual se le encomendó la tarea de redactar un Documento de adaptación de la LPRL a la Universidad. Este documento ha sido aprobado en el Consejo de Universidades en el año 2011. Cabe decir que tengo el honor de ser miembro de la citada comisión y de participar activamente en ella.

⁴ Véase: “Comentarios a la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y su régimen jurídico sancionador”. 3ª ed.. Leodegario Fernández. Ed. Dykinson. Madrid. 2007.

⁵ Véase: Guía técnica para la aplicación del RD 485/1997 editada por el INSHT.

⁶ Véase: Guía técnica para la aplicación del RD 486/1997 editada por el INSHT.

- R.D. 773/1997, 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. (BOE 12.6. 97)
- R.D. 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.(BOE 7.8.97)
- R.D. 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (B.O.E 28.3.2006)

1.1.2. Normativa legal específica relacionada con sustancias químicas.

La normativa relacionada con sustancias químicas es enormemente prolija. Pasemos a exponerla, no sin antes, clasificarla según los siguientes conceptos:

- I. Normativa sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con agentes químicos.*
- II. Normativa relacionada con Accidentes Graves de origen químico.*
- III. Almacenamiento de sustancias químicas*
- IV. Comercialización de sustancias químicas*
- V. Cancerígenos*
- VI. Amianto*
- VII. Benceno*
- VIII. Cloruro de vinilo monómero*
- IX. Otros agentes químicos específicos*
- X. Etiquetado*
- XI. Residuos peligrosos*
- XII. Sustancias químicas explosivas*
- XIII. Otra Normativa relacionada con Agentes Químicos.*
 - a. Enfermedades profesionales*
 - b. Estatuto de los trabajadores*
 - c. Buenas prácticas de laboratorio*
 - d. Venta y uso de Tabaco*
 - e. Normativa interna de la Universidad de Granada*

Exponemos, a continuación, la normativa más relevante que existe en estas materias. Comenzaremos por detallar, en primer lugar, la normativa internacional y europea destacable y, a continuación, acorde con la clasificación anterior, la normativa legal española:

1. NORMATIVA SOBRE PROTECCIÓN DE LA SALUD Y SEGURIDAD DE LOS TRABAJADORES CONTRA LOS RIESGOS RELACIONADOS CON AGENTES QUÍMICOS.

1.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Directiva 98/24/CE** del Consejo, de 7 de abril de 1998, relativa a la protección de la salud y seguridad los trabajadores contra los riesgos relacionados con los **agentes químicos** durante el trabajo.

1.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Real Decreto 374/2001**, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

2. NORMATIVA RELACIONADA CON ACCIDENTES GRAVES DE ORIGEN QUÍMICO.

2.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Directiva 96/82/CE**, del Consejo, de 9 de diciembre, relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- **Decisión 98/433/CE**, de la Comisión Europea, de 26 de junio, sobre criterios armonizados para la concesión de exenciones de acuerdo con el artículo 9.º 6 a), de la Directiva 96/82/CE.

2.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Real Decreto 1196/2003**, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.
- **Real Decreto 119/2005**, de 4 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- **Real Decreto 948/2005**, de 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- **Real Decreto 1254/1999**, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

3. ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

- **Real Decreto 379/2001**, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.

Modificación posterior:

- **Corrección de errores** de 19 de octubre del Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.

ITC MIE APQ 1:«Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles»

ITC MIE APQ 2.«Almacenamiento de óxido de etileno»

ITC MIE APQ 3.«Almacenamiento de cloro»

ITC MIE APQ 4.«Almacenamiento de amoníaco anhidro»

ITC MIE APQ 5«Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión»

ITC MIE APQ 6.«Almacenamiento de líquidos corrosivos»

ITC MIE APQ 7.«Almacenamiento de líquidos tóxicos»

- **Real Decreto 2016/2004**, de 11 de octubre, por el que se aprueba la Instrucción técnica complementaria MIE APQ-8 «Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno».

4. COMERCIALIZACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

4.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Convenio de Rotterdam** para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.
- **Directiva 67/548/CEE** del Consejo, de 27 de junio de 1967, relativa a la

aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.

- **Directiva 76/769/CEE** del Consejo, de 27 de julio de 1976, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 83/264/CEE** del Consejo, de 16 de mayo de 1983, por la que se modifica, por cuarta vez, la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 83/478/CEE** del Consejo, de 19 de septiembre de 1983, por la que se modifica por quinta vez (amianto) la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 85/467/CEE** del Consejo, de 1 de octubre de 1985, que modifica por sexta vez (bifenilos policlorados/terfenilos policlorados) la Directiva 76/769/CEE, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 89/677/CEE** del Consejo, de 21 de diciembre de 1989, por la que se modifica por octava vez la directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 2002/61/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de julio de 2002, por la que se modifica por decimonovena vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo, que limita la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (colorantes azoicos).

Modificado por:

- **Directiva 91/157/CEE** del Consejo, de 18 de marzo de 1991, relativa a las pilas y a los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas.
- **Directiva 91/173/CEE** del Consejo de 21 de marzo de 1991 por la que se

modifica por novena vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.

- **Directiva 91/338/CEE** del Consejo de 18 de junio de 1991 por la que se modifica por décima vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 91/339/CEE** del Consejo de 18 de junio de 1991 por la que se modifica por undécima vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 91/659/CEE** de la Comisión, de 3 de diciembre de 1991, por la que se adapta por primera vez al progreso técnico el Anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (amianto).
- **Directiva 94/27/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de junio de 1994 por la que se modifica por duodécima vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 94/60/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 por la que se modifica por decimocuarta vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 96/55/CE** de la Comisión de 4 de septiembre de 1996 por la que se adapta al progreso técnico por segunda vez el Anexo I de la Directiva 76/769/CEE, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (disolventes clorados).

- **Directiva 97/10/CE** de la Comisión de 26 de febrero de 1997 por la que se adapta al progreso técnico por tercera vez el Anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 97/16/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de abril de 1997 por la que se modifica por decimoquinta vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la limitación de la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 97/56/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de octubre de 1997 por la que se modifica por decimosexta vez la Directiva 76/769/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 97/64/CE** de la Comisión de 10 de noviembre de 1997 por la que se adapta al progreso técnico por cuarta vez el Anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 98/101/CE** de la Comisión de 22 de diciembre de 1998 por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 91/157/CEE del Consejo relativa a las pilas y a los acumuladores que contengan determinadas materias peligrosas.
- **Directiva 1999/43/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 1999, por la que se modifica por decimoséptima vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligroso.
- **Directiva 1999/51/CE** de la Comisión, de 26 de mayo de 1999, por la que se adapta al progreso técnico por quinta vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 1999/77/CE** de la Comisión de 26 de julio de 1999 por la que se

adapta al progreso técnico por sexta vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (amianto).

- **Directiva 2001/41/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de junio de 2001, por la que se modifica por vigésima primera vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos, en lo que se refiere a sustancias clasificadas como carcinógenas, mutagénicas o tóxicas para la reproducción.
- **Directiva 2001/90/CE** de la Comisión, de 26 de octubre de 2001, por la que se adapta al progreso técnico por séptima vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (creosota).
- **Directiva 2001/91/CE** de la Comisión, de 29 de octubre de 2001, por la que se adapta al progreso técnico por octava vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (hexacloroetano).
- **Directiva 2002/62/CE** de la Comisión, de 9 de julio de 2002, por la que se adapta al progreso técnico por novena vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (compuestos organoestánicos).
- **Directiva 2002/45/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, por la que se modifica por vigésima vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo respecto a la limitación de la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (parafinas cloradas de cadena corta).
- **Directiva 2002/61/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de julio de

2002, por la que se modifica por decimonovena vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo, que limita la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (colorantes azoicos).

- **Directiva 2003/2/CE** de la Comisión, de 6 de enero de 2003, que limita la comercialización y el uso del arsénico (décima adaptación al progreso técnico de la Directiva 76/769/CEE del Consejo) (Texto pertinente a efectos del EEE).
- **Directiva 2003/3/CE** de la Comisión, de 6 de enero de 2003, relativa a la limitación de la comercialización y el uso de "colorante azul" (decimosegunda adaptación al progreso técnico de la Directiva 76/769/CEE del Consejo) (Texto pertinente a efectos del EEE).
- **Directiva 2003/11/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, por la que se modifica por vigésimo cuarta vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (éter de pentabromodifenilo, éter de octabromodifenilo).
- **Directiva 2003/34/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de mayo de 2003, por la que se modifica por vigésimo tercera vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo que limita la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (sustancias clasificadas como carcinógenas, mutagénicas o tóxicas para la reproducción c/m/r).
- **Directiva 2003/36/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de mayo de 2003, por la que se modifica por vigésima quinta vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (sustancias clasificadas como carcinógenas, mutagénicas o tóxicas para la reproducción - c/m/r) (Texto pertinente a efectos del EEE).
- **Directiva 2005/53/CE** de la Comisión, de 16 de septiembre de 2005, por la que se modifica la Directiva 91/414/CEE del Consejo a fin de incluir las sustancias activas clorotalonil, clorotoluron, cipermetrina, daminozida y tiofanato-metil.
- **Directiva 2004/21/CE** de la Comisión, de 24 de febrero de 2004, relativa a la limitación de la comercialización y el uso de colorantes azoicos (decimotercera

adaptación al progreso técnico de la Directiva 76/769/CEE del Consejo) (Texto pertinente a efectos del EEE).

- **Directiva 2004/98/CE** de la Comisión, de 30 de septiembre de 2004, que modifica la Directiva 76/769/CEE del Consejo por lo que respecta a las restricciones de la comercialización y el uso de éter de pentabromodifenilo en sistemas de evacuación de emergencia de aeronaves con el fin de adaptar su anexo I al progreso técnico.
- **Directiva 2004/96/CE** de la Comisión, de 27 de septiembre de 2004, por la que se modifica la Directiva 76/769/CEE del Consejo en relación con la limitación de la comercialización y el uso de níquel en los dispositivos de perforación para la adaptación de su anexo I al progreso técnico (Texto pertinente a efectos del EEE).
- **Directiva 2005/59/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2005, por la que se modifica por vigésimo octava vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (tolueno y triclorobenceno).
- **Directiva 2005/69/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2005, por la que se modifica por vigésimo séptima vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (hidrocarburos aromáticos policíclicos en aceites diluyentes y en neumáticos).
- **Directiva 2005/84/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2005, por la que se modifica por vigésimo segunda vez la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación e las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (ftalatos en los juguetes y artículos de puericultura).
- **Directiva 2000/39/CE** de la Comisión, de 8 de junio de 2000, por la que se establece una primera lista de valores límite de exposición profesional indicativos en aplicación de la Directiva 98/24/CE del Consejo relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo (Texto pertinente a efectos del EEE).

4.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Orden de 11 diciembre de 1990**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 31 de agosto de 1992**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 30 de diciembre de 1993**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 14 de mayo de 1998**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 15 de julio de 1998**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 11 de febrero de 2000**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 24 de marzo de 2000**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 6 de julio de 2000**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 25 de octubre de 2000**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden de 7 de diciembre de 2001**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.

-Determinación de la presencia de agentes químicos peligrosos en el lugar de

trabajo. (art. 3.1.)

-Eliminación o reducción al mínimo del riesgo que entrañe un agente químico peligroso. Para ello deberá “preferentemente, evitar el uso de dicho agente sustituyéndolo por otro o por un proceso químico que, con arreglo a sus condiciones de uso, no sea peligroso o lo sea en menor grado.” (art. 5.2.)

- Informar a los trabajadores sobre los “agentes químicos peligrosos presentes en el lugar de trabajo, tales como su denominación, los riesgos para la seguridad y salud, los valores límite de exposición profesional y otros requisitos legales que les sean de aplicación.” (Art. 9.2.b.).

- **Orden de 25 de junio, de 2002**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden PRE/2666/2002, de 25 de octubre de 2002**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 Noviembre, por el que se impone Limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden PRE/375/2003, de 24 de febrero de 2003**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen Limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden PRE/730/2003, de 25 de marzo de 2003**, por la que se modifica el Anexo I del REAL DECRETO 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen Limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.
- **Orden PRE/2277/2003, de 4 de agosto**, por la que se modifica el Anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos. Arsénico y colorante azul.
- **Orden PRE/1895/2004, de 17 de junio**, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (sustancias

clasificadas como carcinógenas, mutágenas y tóxicas para la reproducción).

- **Orden PRE/1954/2004, de 22 de junio**, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (nonilfenol, etoxilados de nonilfenol y cemento).
- **Orden PRE/3159/2004, de 28 de septiembre**, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (métodos de ensayo de colorantes azoicos).
- **Orden PRE/556/2005, de 10 de marzo**, por el que se modifica la Orden PRE/473/2004, de 25 de febrero, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (éter de pentabromodifenilo, éter de octabromodifenilo).
- **Orden PRE/1933/2005, de 17 de junio**, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (dispositivos de perforación).
- **Orden PRE/2743/2006, de 5 de septiembre**, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (tolueno y triclorobenceno).
- **Orden PRE/2744/2006, de 5 de septiembre**, por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos (hidrocarburos aromáticos policíclicos en aceites diluyentes y en neumáticos).
- **Real Decreto 1114/2006, de 29 de septiembre**, por el que se modifica el Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.

5. CANCERÍGENOS

5.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Convenio 136 de la OIT**, relativo a la protección contra los riesgos de intoxicación por el benceno.
- **Directiva 90/394/CEE**, de 28 de junio, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo
- **Directiva 97/42/CE** del Consejo de 27 de junio de 1997 por la que se modifica por primera vez la Directiva 90/394/CEE relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos durante el trabajo (Sexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).
- **Directiva 88/364/CEE**, de 9 de junio de 1989, recoge la protección de los trabajadores mediante la prohibición, por sus riesgos cancerígenos, de determinados agentes específicos y/o determinadas actividades.

Entre otras, aparece como obligaciones del empresario:

- Identificar las sustancias cancerígenas, evitarlas y evaluar los riesgos de las que no hayan podido ser evitadas. (Art. 3).
- Sustituir los agentes cancerígenos o mutágenos por otras no peligrosas o que lo sean en menor grado. (Art. 4).

5.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo**, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

Modificado por:

- **Real Decreto 1124/2000, de 16 de Junio**, por el que se modifica el REAL DECRETO 665/1997, de 12 de Mayo, sobre la protección de los trabajadores

contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

- **Real Decreto, de 21 de marzo**, por el que se modifica el Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo, y por el que se amplía su ámbito de aplicación a los agentes mutágenos.

6. AMIANTO

6.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Directiva 83/477/CEE** del Consejo, de 19 de septiembre de 1983, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo (segunda Directiva particular con arreglo al artículo 8 de la Directiva 80/1107/CEE).
- **Directiva 87/217/CEE** del Consejo de 19 de marzo de 1987 sobre la prevención y la reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.
- **Directiva 2003/18/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de marzo de 2003, por la que se modifica la Directiva 83/477/CEE del Consejo sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo (Texto pertinente a efectos del EEE).
- **Resolución de 8 de septiembre de 1987**, de la Dirección General de Trabajo, sobre tramitación de solicitudes de homologación de laboratorios especializados en la determinación de fibras de amianto.
- **Orden de 22 de diciembre de 1987** por la que se aprueba el Modelo de Libro Registro de Datos correspondientes al Reglamento sobre Trabajo con Riesgo de Amianto. (Derogada)

6.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Resolución de 20 de febrero 1989** de la Dirección General de Trabajo, por la que se regula la remisión de fichas de seguimiento ambiental y médico para el control de exposición al amianto.
- **Real Decreto 108/1991** de 1 de febrero de 1991 sobre Prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.
- **Real Decreto 396/2006**, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.
- **Orden de 26 de julio de 1993**, por la que se modifican los arts. 2., 3. y 13 de la O.M. 31 octubre 1984, por la que se aprueba el Reglamento sobre Trabajos con Riesgo de Amianto, y el art. 2. de la O.M. 7 enero 1987, por la que se establecen normas complementarias del citado Reglamento, trasponiéndose a la legislación española la **Directiva del Consejo 91/382/CEE**, de 25 junio.
- **Orden de 7 de diciembre de 2001**, por la que se modifica el anexo I del REAL DECRETO 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.

7. BENCENO

- **Orden Ministerial** de 14.9.1959 (BOE de 18.9.59). Fabricación y empleo de productos que contengan benceno.
*Actualizado por **resolución de 15.2.77** (BOE 11.3.77).*
- **Instrumento de 31.3. 1973** (Jef. Est. BOE 5.2.75). Ratificación del Convenio de O.I.T nº 136 de 23.6.1971, sobre los riesgos de intoxicación por benceno.
- **Resolución** (DD GG de trabajo y promoción Industrial y Tecnología) de 15.2.1977 (BOE 11.3.). Empleo de disolventes y otros compuestos que contengan benceno.

8. CLORURO DE VINILO MONÓMERO

- **Orden Ministerial de 9.4.1986** (BOE 6.5.). Reglamento para la prevención de riesgos y protección de la salud por la presencia de cloruro de vinilo monómero en el ambiente de trabajo.

9. OTROS AGENTES QUÍMICOS ESPECÍFICOS

- **Orden de 14.3.1989** sobre gestión de los policlorobifenilos y policloroterfenilos.

10. ETIQUETADO

10.1. NORMATIVA INTERNACIONAL

- **Directiva 67/548/CEE del Consejo**, de 27 de junio de 1967, relativa a la **aproximación** de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas
- **Directiva 91/410/CEE** de la Comisión, de 22 de julio de 1991, por la que se adapta, por decimocuarta vez, al progreso técnico de la directiva 67/548/CEE del consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- **Directiva 92/32/CEE** del Consejo de 30 de abril de 1992 por la que se modifica por séptima vez la Directiva 67/548/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de sustancias peligrosas.
- **Directiva 92/69/CEE** de la Comisión, de 31 de julio de 1992, por la que se adapta al progreso técnico, por decimoséptima vez, la Directiva 67/548/CEE del

Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.

- **Directiva 93/21/CEE** de la Comisión de 27 de abril de 1993 por la que se adapta al progreso técnico, por decimoctava vez, la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- **Directiva 93/67/CEE** de la Comisión, de 20 de julio de 1993, por la que se fijan los principios de evaluación del riesgo, para el ser humano y el medio ambiente, de las sustancias notificadas de acuerdo con la Directiva 67/548/CEE del Consejo.
- **Directiva 93/72/CEE** de la Comisión de 1 de septiembre de 1993 por la que se adapta, por decimonovena vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- **Directiva 93/105/CE** de la Comisión de 25 de noviembre de 1993 por la que se establece el Anexo VII D que contiene la información exigida en el expediente técnico mencionado en el artículo 12 de la séptima modificación de la Directiva 67/548/CEE del Consejo.
- **Directiva 93/112/CE** de la Comisión de 10 de diciembre de 1993 por la que se modifica la Directiva 91/155/CEE por la que se definen y fijan, en aplicación del artículo 10 de la Directiva 88/379/CEE las modalidades del sistema de información específica relativo a los preparados peligrosos. *Junto con las modificaciones posteriores.*
- **Directiva 93/101/CE** de la Comisión de 11 de noviembre de 1993 por la que se adapta, por vigésima vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- **Directiva 94/69/CE** de la Comisión de 19 de diciembre de 1994 por la que se adapta, por vigésimo primera vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE

del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas Volumen I y Volumen IIS (Anexo I: Nos 006-002- 00-2 a 650-015-00-7 y Anexo II: Nos 006-076-00-1 a 649- 550-00-9).

- **Directiva 96/56/CE** del Parlamento Europeo Y del Consejo de 3 de septiembre de 1996 que modifica la Directiva 67/548/CEE relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- **Directiva 96/54/CE** de la Comisión de 30 de julio de 1996 por la que se adapta, por vigésima segunda vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas (Texto pertinente a los fines del EEE).
- **Directiva 97/69/CE** de la Comisión de 5 de diciembre de 1997 por la que se adapta, por vigésimo tercera vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, envasado y etiquetado de las sustancias peligrosas (Texto pertinente a los fines del EEE).
- **Directiva 98/73/CE** de la Comisión de 18 de septiembre de 1998 por la que se adapta, por vigésimo cuarta vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas (Texto pertinente a los fines del EEE).
- **Directiva 98/98/CE** de la Comisión de 15 de diciembre de 1998 por la que se adapta, por vigésima quinta vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas (Texto pertinente a los fines del EEE).
- **Directiva 2000/21/CE** de la Comisión, de 25 de abril de 2000, relativa a la lista de la legislación comunitaria mencionada en el quinto guión del apartado 1 del artículo 13 de la Directiva 67/548/CEE del Consejo (Texto pertinente a efectos del EEE).
- **Directiva 2001/58/CE** de la Comisión, de 27 de julio de 2001, que modifica por

segunda vez la Directiva 91/155/CEE de la Comisión, por la que se definen y fijan las modalidades del sistema de información específica respecto a los preparados peligrosos en aplicación del artículo 14 de la Directiva 1999/45/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y respecto a las sustancias peligrosas en aplicación del artículo 27 de la Directiva 67/548/CEE del Consejo (fichas de datos de seguridad).

- **Directiva 2004/73/CE** de la Comisión, de 29 de abril de 2004, por la que se adapta, por vigésima novena vez, al progreso técnico la Directiva 67/548/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- **Directiva 2001/60/CE** de la Comisión, de 7 de agosto de 2001, por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 1999/45/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros relativas a la clasificación, el envasado y el etiquetado de preparados peligrosos.
- **Directiva 1999/45/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 31 de mayo de 1999, sobre la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros relativas a la clasificación, el envasado y el etiquetado de preparados peligrosos.
- **Directiva 2006/8/CE** de la Comisión, de 23 de enero de 2006, por la que se modifican, para su adaptación al progreso técnico, los anexos II, III y V de la Directiva 1999/45/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros relativas a la clasificación, el envasado y el etiquetado de preparados peligrosos.
- **Reglamento (CE) nº 1272/2008** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.

10.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Real Decreto 363/1995**, de 10 de Marzo de 1995 por el que se regula la Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas⁷. Derogado por Reglamento (CE) nº 1272/2008.
- **Orden de 13 de septiembre de 1995**, por el que se modifica el Anexo I, del Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo de 1995. Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.
- **Orden de 21 de febrero de 1997**, por el que se modifica el Anexo I, del Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo de 1995. Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.
- **Real Decreto 700/1998**, de 24 de Abril de 1998 por el que se modifica el Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo de 1995. Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.
- **Orden de 30 de junio de 1998**, por el que se modifica partes del articulado y partes de los Anexos I, III, V y VI del Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo de 1995. Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.
- **ORDEN DE 11 DE SEPTIEMBRE DE 1998**, por el que se modifica partes de los Anexos I y VI del REAL DECRETO 363/1995, de 10 de Marzo de 1995. Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas de las siguientes disposiciones:
- **Orden de 16 de julio de 1999**, por el que se modifica partes de los Anexos I y V del Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo de 1995. Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.
- **Orden de 5 de octubre de 2000** por la que se modifican los anexos I, III, IV y VI

⁷ Véase: F. Sicilia, "La adquisición de sustancias peligrosas: Criterios básicos". Revista MAPFRE SEGURIDAD. 3º trimestre año 1997. Ed. MAPFRE.

del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de Marzo de 1995.

- **Orden de 5 de abril de 2001** por la que se modifican los anexos I IV V VI y IX del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.
- **Real Decreto 507/2001**, de 11 de mayo, por el que se modifica el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.
- **Orden PRE/164/2007**, de 29 de enero, por la que se modifican los anexos II, III y V del Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, aprobado por el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero.
- **Orden PRE/2317/2002**, de 16 de septiembre, por la que se modifican los anexos I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.
- **Real Decreto 99/2003**, de 24 de enero, por el que se modifica el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.
- **Orden PRE/1244/2006**, de 20 de abril, por la que se modifican los anexos I y V del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.
- **Real Decreto 255/2003**, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

Modificado por:

- **Orden PRE/3/2006**, de 12 de enero, por la que se modifica el anexo VI del Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, aprobado por el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero de 2003.

11. RESIDUOS⁸

Destacamos por su interés para laboratorios químicos las siguientes:

11.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Directiva 76/769/CEE** del Consejo, de 27 de julio de 1976, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos.
- **Directiva 96/59/CE** del Consejo de 16 de septiembre de 1996 relativa a la eliminación de los policlorobifenilos y de los policloroterfenilos (PCB/PCT).
- **Directiva 91/689/CEE**, del Consejo, de 12 de diciembre, relativa a los residuos peligrosos, disposición que deroga expresamente la Directiva 78/319/CEE.
- **Directiva 96/61/CE del Consejo** de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación.

11.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Ley 10/1998**, de 21 de abril, de Residuos⁹
- **Real Decreto 1378/1999**, de 27 de Agosto de 1999, complementa la LEY 10/1998, de 21 de Abril, estableciendo las Medidas para la Eliminación y Gestión de los Policlorobifenilos, Policloroterfenilos y Aparatos que los contengan.
- **Resolución de 9 de abril de 2001**, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, de 6 de abril de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de Policlorobifenilos (PCB), Policloroterfenilos (PCT) y Aparatos que los Contengan (2001-2010) junto con su **Corrección de errores de la Resolución de 9 de abril de 2001**, de la Secretaría General de Medio Ambiente,

⁸ Véase en tal sentido el artículo publicado y elaborado con motivo de la presente tesis: F. Sicilia; "Medidas preventivas en el manejo de residuos peligrosos en laboratorios". Revista Química e Industria, marzo de 2002.

⁹ Véase en tal sentido la publicación elaborada con motivo de la presente tesis: "Residuos peligrosos" en el curso de verano de la UGR en Ceuta. 2002.

por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de abril de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de Policlorobifenilos (PCB), Policloroterfenilos (PCT) y Aparatos que los Contengan (2001-2010).

- **Real Decreto 937/1989**, de 21 de julio, por el que se regula la concesión de ayudas del Plan Nacional de Residuos Industriales.
- **Real Decreto 833/1988**, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986 (DEROGADA POR **Ley 10/1998**), básica de residuos tóxicos y peligrosos.
- **Real Decreto 1771/1994**, de 5 de agosto, de adaptación a la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de régimen jurídico de las Administraciones Publicas y del Procedimiento Administrativo Común, de determinados procedimientos administrativos en materia de aguas, costas y medio ambiente.
- **Real Decreto 952/1997**, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la Ejecución de la Ley 20/1986 (DEROGADA POR **Ley 10/1998**), de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio.
- **Real Decreto 4/2001**, de 16 de febrero, sobre el régimen de intervención administrativa aplicable a la valorización energética de harinas de origen animal procedentes de la transformación de despojos y cadáveres de animales.

12. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

12.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Directiva 94/9/CE**, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- **Directiva 1999/92/CE**, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la

protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas.

12.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Real Decreto 681/2003**, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- **Real Decreto 400/1996**, de 1 de marzo, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 94/9/CE, relativa a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

13. OTRA NORMATIVA RELACIONADA CON LOS LABORATORIOS

a) Enfermedades Profesionales.

13.1. NORMATIVA INTERNACIONAL Y EUROPEA

- **Convenio 42 de la OIT**, relativo a la indemnización por enfermedades profesionales (revisado en 1934).

13.2. NORMATIVA ESPAÑOLA

- **Real Decreto 1299/2006**, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.
- **Orden TAS/1/2007**, de 2 de enero, por la que se establece el modelo de parte de enfermedad profesional, se dictan normas para su elaboración y transmisión y se

crea el correspondiente fichero de datos personales

b) Buenas prácticas de laboratorio.

- **R.D. 822/1993**, de 28 de mayo, por el que se establecen los principios de buenas prácticas de laboratorio y su aplicación en la realización de estudios no clínicos sobre sustancias y productos químicos.
- **R.D. 2043/1994**, de 14 de octubre, sobre inspección y verificación de buenas prácticas de laboratorio.

c) Estatuto de los trabajadores.

- Texto refundido del Estatuto de los Trabajadores aprobado por **R.D. Legislativo 1/1995** de 24.3. (BOE 29.3.) y posteriores modificaciones.

d) Venta y uso de tabaco.

- **Ley 28/2005**, de 26 de diciembre, de medidas sanitarias frente al tabaquismo y reguladora de la venta, el suministro, el consumo y la publicidad de los productos del tabaco.

e) Normativa interna de la Universidad.

- **Plan de Prevención de Riesgos de la Universidad de Granada**, aprobado por Consejo de Gobierno el 27 de julio de 2009. Publicado en el BOUGR nº 28.
- **Acuerdo del Pleno Consejo de Universidades**, en la sesión celebrada el 22 de septiembre de 2011, por el que se establecen directrices para la adaptación de la legislación de prevención de riesgos laborales a la Universidad, de promoción y extensión de la cultura preventiva a la comunidad universitaria. Elaborado por la *Comisión Nacional de Prevención de Riesgos en la Universidad*.¹⁰

¹⁰ Comisión a la cual tengo, personalmente, el honor de pertenecer.

1.2. Normativa técnica.

A la hora de evaluar los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores originados por los agentes químicos, la propia normativa legal (art. 3 del R.D. 374/2001), ante la no concreción en la misma de ninguna metodología de evaluación propia para el riesgo químico en laboratorios, indica las líneas a seguir de manera general para abordar este tipo de evaluaciones. Así, el procedimiento de evaluación a tener presente, redactado en el artículo 5 del Real Decreto anteriormente citado, expone textualmente¹¹:

R.D. 374/2001

Artículo 5. Procedimiento

A partir de la información obtenida sobre la *organización, características y complejidad del trabajo, sobre las materias primas y los equipos de trabajo existentes en la empresa y sobre el estado de salud de los trabajadores*, se procederá a la *determinación de los elementos peligrosos y a la identificación de los trabajadores expuestos a los mismos*, valorando a continuación el riesgo existente en función de criterios objetivos de valoración, según los conocimientos técnicos existentes, o consensuados con los trabajadores, de manera que se pueda llegar a una conclusión sobre la necesidad de evitar o de controlar y reducir el riesgo.

A los efectos previstos en el párrafo anterior se tendrá en cuenta la información recibida de los trabajadores sobre los aspectos señalados.

El procedimiento de evaluación utilizado deberá proporcionar confianza sobre su resultado. En caso de duda deberán adoptarse las medidas preventivas más favorables, desde el punto de vista de la prevención.

La evaluación incluirá la realización de las mediciones, análisis o ensayos que se consideren necesarios, salvo que se trate de operaciones, actividades o procesos en los que la directa apreciación profesional acreditada permita llegar a una conclusión sin necesidad de recurrir a aquellos, siempre que se cumpla lo dispuesto en el párrafo anterior.

¹¹ Texto íntegro del art. 5 del RD 374/2001

En cualquier caso, si existiera normativa específica de aplicación, el procedimiento de evaluación deberá ajustarse a las condiciones concretas establecidas en la misma.

Cuando la evaluación exija la realización de mediciones, análisis o ensayos y la normativa no indique o concrete los métodos que deben emplearse, o cuando los criterios de valoración contemplados en dicha normativa deban ser interpretados o precisados a la luz de otros criterios de carácter técnico, se podrán utilizar, si existen, los métodos y criterios recogidos en:

- a) Normas UNE.*
- b) Guías del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, del Instituto Nacional de Silicosis y protocolos y guías del Ministerio de Sanidad y Consumo, así como de Instituciones competentes de las Comunidades Autónomas.*
- c) Normas Internacionales.*

En ausencia de las anteriores, guías de otras entidades de reconocido prestigio en la materia u otros métodos o criterios profesionales descritos documentalmente que cumplan lo establecido en el primer párrafo del apartado 2 de este artículo y proporcionen un nivel de confianza equivalente.

Como hemos podido comprobar, se hace referencia a la extensa normativa técnica existente, haciéndose indispensable una revisión bibliográfica de las normas UNE, Guías del INSHT y normas internacionales en la evaluación de agentes químicos, puesto que en nuestra tesis nos apoyaremos en el referido marco normativo legal.

1.2.1. Normas Una Norma Española, (UNE).

Cuando nos proponemos evaluar si el ambiente laboral supone un riesgo para la salud del trabajador es primordial conocer cuáles son los agentes químicos a los que puede estar expuesto y, entre otros aspectos, a qué nivel de concentración se encuentran expuestos. Y es que, una de las mayores inquietudes en el campo de la Higiene Industrial es la de determinar si la exposición a un agente químico entraña o no riesgo para la salud del trabajador. Así, cuando la exposición es por vía respiratoria, determinar la exposición diaria y/o la exposición corta a los agentes químicos es una de las tareas a realizar por el higienista.

Dentro de este proceso de evaluación, una de las etapas fundamentales es la toma de muestras. Este proceso de toma de muestra y su posterior análisis está sometido a algún tipo de error, lo que implica que la concentración calculada a partir de los datos obtenidos de los análisis es sólo una estimación del verdadero valor de la concentración ambiental.

Para minimizar los errores en el muestreo, es necesario, entre otros factores¹², establecer una adecuada estrategia de muestreo, de forma que permita obtener una estimación válida y representativa de la exposición real. Toda esta estrategia donde se incluyen mediciones, instrumentación y todos los detalles necesarios para determinar concentraciones ambientales, viene desarrollada en las normas UNE¹³ relativas a los “métodos de ensayo para evaluar los riesgos producidos por sustancias peligrosas en el lugar de trabajo.” Citemos, a continuación, una relación, no exhaustiva, de las normas más relevantes en este campo:

1. **UNE 81551:1989.** Calidad del aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de fibras de amianto en aire. Método de filtro de membrana/ microscopía óptica.
2. **UNE 81569:1991.** Calidad del aire. Atmósferas en el puesto de trabajo. Determinación de plomo metálico y sus compuestos iónicos. Método de espectrofotometría de absorción atómica de llama.
3. **UNE 81575:1998.** Calidad del aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de arsénico y sus compuestos en forma particulada y de vapores de trióxido de arsénico en aire. Método de generación de hidruros/ espectrofotometría de absorción atómica.
4. **UNE 81580: 1992:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de n- hexano y tolueno. Método de muestreador pasivo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
5. **UNE 81581:1992:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo.

¹² Los errores pueden ser sistemáticos y aleatorios. Dentro de los sistemáticos, la pericia del técnico/a adquiere una especial relevancia. Así es indispensable una buena calibración de los equipos de medición, tener en cuenta los blancos de muestreo, etc. Para más información, y con motivo de esta tesis, se pueden consultar este tipo de apreciaciones en el capítulo de libro publicado en el Tratado de Medicina del Trabajo, Cáp. 25: "Evaluación de la exposición a agentes químicos". F. Gil. Ed. Masson. 2011.

¹³ Un listado de las mismas relacionadas se incluye como anexo 4 de la presente investigación.

- Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
6. **UNE 81582:1991:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de hidrocarburos clorados en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 7. **UNE 81583:1992:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de hidrocarburos alifáticos (n-hexano, n-heptano, n-octano, n-nonano) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 8. **UNE 81584:1992:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de alcoholes (2-propanol, 2 metil-1-propanol, 1-butanol.) Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 9. **UNE 81585:1992:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de éteres de glicoles (1-metoxi-2-propanol, 2-etoxietanol) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 10. **UNE 81586:1998:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de vapores orgánicos en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 11. **UNE 81587:1994:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de metales y sus compuestos iónicos en aire. Método de espectrofotometría de absorción atómica con llama.
 12. **UNE 81588:1991:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de cloruro de vinilo en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 13. **UNE 81590:1992:** control biológico. Determinación de plomo en sangre. Método de espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito.
 14. **UNE 81591:1991:** control biológico. Determinación de plomo en sangre. Método de extracción. Espectrofotometría de absorción atómica.
 15. **UNE 81592:1992:** control biológico. Determinación de la actividad de la dehidrasa del ácido delta-aminolevulínico (ala-d) en sangre. Método espectrofotométrico.
 16. **UNE 81593:1992:** control biológico. Determinación del ácido delta-aminolevulínico (ala-d) en orina. Método de intercambio iónico / espectrofotometría.
 17. **UNE 81594:1992:** control biológico. Determinación de protoporfirina de cinc (ppz)

- en sangre. Método de lectura directa (hematofluorímetro).
18. **UNE 81595:1998:** control biológico. Determinación de mercurio en orina. Método de vapor frío con borohidruro de sodio. Espectrofotometría de absorción atómica.
 19. **UNE 81596:1994:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de ésteres I (acetato de etilo, acetato de 2-metilpropilo y acetato de n-butilo) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 20. **UNE 81597:1994:** Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de ésteres II (acetato de 1 metoxi-2-propilo, acetato de 2 etoxietilo) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 21. **UNE 81598:1992:** Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de Cetonas (acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 22. **UNE 81598/1M:1998:** Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de Cetonas (acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona) en aire. Método del tubo de gel de sílice / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 23. **UNE 81599:** 1996: Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de materia particulada (fracciones inhalable y respirable) en aire. Método gravimétrico.
 24. **UNE 81750:1997:** Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de estireno en aire. Método del muestreador pasivo por difusión / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 25. **UNE 81750/1M:1998:** Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de estireno en aire. Método del muestreador pasivo por difusión / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
 26. **UNE 81751:1997:** control biológico. Determinación de estireno en aire exalado. Método de captación en tubo adsorbente/desorción térmica / cromatografía de gases.
 27. **UNE 81751/1M:1999:** control biológico. Determinación de estireno en aire exalado. Método de captación en tubo adsorbente/desorción térmica / cromatografía de gases.
 28. **UNE-EN 481:1995:** atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles (versión oficial en 481:1993).
 29. **UNE-EN 482:1995:** atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al

funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.

30. **UNE-EN 689:1996:** atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición.
31. **UNE-EN 838:1996:** atmósferas en el lugar de trabajo. Muestreadores pasivos por difusión para la determinación de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo.
32. **UNE-EN 1076:1997:** atmósferas en el lugar de trabajo. Tubos adsorbentes para la determinación de gases y vapores captados mediante bombeo. Requisitos y métodos de ensayo.
33. **UNE-EN 1231:1997:** atmósferas en el lugar de trabajo. Sistemas de medición por tubos detectores de corta duración. Requisitos y métodos de ensayo.
34. **UNE-EN 1232:1997:** atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
35. **UNE 100-011.** Ventilación para una Calidad del aire aceptable en los locales.
36. **UNE-EN 14175:2005** Vitrinas de gases, partes 2,3 y 4.

1.2.2. Guías Técnicas y Documentación del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).

1.2.2.1. Guías técnicas.

De especial aplicación en nuestro trabajo de investigación es la *“Guía técnica para la determinación y evaluación de la exposición laboral a agentes químicos en ambiente laboral”*, editada por el INSHT con motivo de la aparición del RD 374/2001, que se ha aplicado para la determinación de las concentraciones ambientales muestreadas en los laboratorios objeto de nuestro estudio.

El Real Decreto 374/2001 de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, encomienda de manera específica, en su disposición final primera, al Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la elaboración y el mantenimiento actualizado de una Guía

Técnica de carácter no vinculante, para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo.

En la Guía se proporcionan los criterios y recomendaciones que pueden facilitar a las empresas e instituciones y a las personas responsables de la prevención la interpretación y aplicación del citado Real Decreto especialmente en lo que se refiere a la evaluación de riesgos para la salud de los trabajadores involucrados y en lo concerniente a medidas preventivas aplicables.

Todos los artículos son comentados en la guía, uno por uno y, de entre los cuales, queremos destacar los comentarios realizados con respecto al artículo 3, de evaluación de riesgos. Textualmente dice que: “La evaluación de riesgos debe referirse a todos los agentes químicos peligrosos existentes en el lugar de trabajo, y el proceso de evaluación debe tener en consideración todos los aspectos...de forma conjunta y no considerando cada aspecto separadamente...La evaluación del riesgo exige, por la propia naturaleza del proceso, tener en consideración todas las circunstancias en las que se produce la actividad laboral tanto de forma habitual como no habitual”.

Estas reflexiones, aplicadas a nuestros laboratorios, hacen indispensable abordar la peligrosidad en los mismos de manera conjunta, teniendo en cuenta todos los aspectos que influyen en los riesgos que, para las personas que están en ellos supone.

Al respecto, mención especial merece el apéndice 4 publicado en donde se expone el método de evaluación de la exposición a agentes químicos por inhalación. En el método quedan establecidos aspectos prácticos como son, entre otros: el número de trabajadores a muestrear, número de muestras ambientales necesarias, los tipos de muestreo posibles, la periodicidad de la toma de muestras, etc.

Estos criterios establecidos los hemos aplicado en las mediciones ambientales de los contaminantes en los diferentes laboratorios, habiendo sido de gran utilidad.

1.2.2.2. Métodos específicos de toma de muestras y análisis.

En nuestra tesis, además de la propuesta metodológica que hacemos, hemos podido muestrear la concentración de contaminantes químicos en aire en ocho de los 40 laboratorios donde se ha aplicado la metodología propuesta, siendo los resultados obtenidos los expuestos en el capítulo 6: Contraste de la validez del IPMAQ y discutidos los mismos en el capítulo 7 de discusión de resultados.

Los métodos establecidos por el INSHT son los métodos de referencia a seguir para la determinación de estos contaminantes en ambiente laboral. Son los denominados “procedimientos específicos de toma de muestra y análisis.

Entre los métodos utilizados destacamos:

- Método de Toma de Muestras/ Muestras Ambientales (MTA/MA-032/A 98: Determinación de vapores orgánicos en aire-método de adsorción en carbón activo / cromatografía de gases.
- MTA/MA-030/A92: Determinación de hidrocarburos aromáticos en aire-método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases.
- Método del National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) 2016. Determinación de formaldehído en aire-método de adsorción en sílica gel/cromatografía alta resolución.

Hemos elegido un método del NIOSH de Estados Unidos para la determinación de la concentración de formaldehído en aire, en concreto el 2016 para la determinación de formaldehído en aire, por ser de éste un método más actual que el propuesto por el INSHT al incorporar la última tecnología en el análisis de las muestras de formaldehído.

1.2.2.3. Notas Técnicas de prevención (NTP).

El INSHT tiene publicadas en la actualidad¹⁴ 925 Notas Técnicas de Prevención en formato electrónico (NTP-e)¹⁵. Aún no siendo *nunca vinculantes, ni de obligado cumplimiento*

¹⁴ Última revisión: 11 de marzo de 2012

¹⁵ Véase la página web: <http://www.insht.es>

poseen una gran validez técnica dentro del campo de la prevención. De entre ellas destacamos, por aplicación directa en nuestro estudio, las siguientes:

- **NTP 925:** Exposición simultánea a varios agentes químicos: criterios generales de evaluación del riesgo.
- **NTP 921:** Seguridad en el laboratorio: cuestionario de seguridad para laboratorios de secundaria.
- **NTP 750:** Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos.
- **NTP 749:** Evaluación del riesgo de accidente por agentes químicos. Metodología simplificada.
- **NTP 725:** Seguridad en el laboratorio: almacenamiento de productos químicos.
- **NTP 681:** Evaluación de la calidad en el laboratorio de higiene industrial. Programas de intercomparación.
- **NTP 677:** Seguridad en el laboratorio. Vitrinas de gases de laboratorio: utilización y mantenimiento
- **NTP 656:** Materiales de referencia. Utilización en el laboratorio de higiene industrial
- **NTP 646:** Seguridad en el laboratorio: selección y ubicación de vitrinas
- **NTP 616:** Riesgos biológicos en la utilización, mantenimiento y reparación de instrumentos de laboratorio
- **NTP 582:** Gestión de los equipos de medición en un laboratorio de higiene industrial
- **NTP 559:** Sistema de gestión preventiva: procedimiento de control de la información y formación preventiva.
- **NTP 551:** Prevención de riesgos en el laboratorio: la importancia del diseño.
- **NTP 550:** Prevención de riesgos en el laboratorio: ubicación y distribución
- **NTP 518:** Prevención del riesgo en el laboratorio. Utilización de equipos protección individual (II): gestión.
- **NTP 517:** Prevención del riesgo en el laboratorio. Utilización de equipos de protección individual (I): aspectos generales.
- **NTP 483:** Aseguramiento de la calidad en un laboratorio de higiene industrial: el manual de calidad (II)
- **NTP 482:** Aseguramiento de la calidad en un laboratorio de higiene industrial: el manual de calidad (I)
- **NTP 479:** Prevención del riesgo en el laboratorio químico: reactividad de los productos químicos (II)
- **NTP 456:** Almacenamiento de productos químicos en laboratorios. Criterios de compatibilidad.
- **NTP 406:** Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral.
- **NTP 399:** Seguridad en el laboratorio: actuación en caso de fugas y vertidos.

Dos son las Notas Técnicas que, de las muchas que edita el INSHT, nos interesan, de manera especial, para llevar a cabo el objeto y propósito que nos hemos planteado con el trabajo de investigación: La primera, la NTP 749: Evaluación del riesgo de accidente por agentes químicos. Metodología simplificada y, la segunda, la NTP 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos.

Ambas metodologías contienen métodos simplificados de evaluación de riesgos relacionados con los agentes químicos y han sido tenidas en cuenta en la presente tesis. En ellas se evalúa el riesgo de la práctica con una sola sustancia peligrosa pero no en su conjunto. Además no tiene en cuenta las medidas de control disponibles en el laboratorio y, por lo tanto, no lo clasifica, hecho que aborda con profundidad nuestro estudio.

A nuestro entender, la metodología propuesta por el INSHT no tiene en cuenta las medidas de control especiales establecidas en los procesos concretos de los laboratorios, ni todas las posibles vías de entrada de las sustancias químicas en el organismo, siendo por tanto un método incompleto de evaluación desde nuestro punto de vista.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS.

En un laboratorio se manipulan sustancias químicas que pueden generar daños a la salud y al medio ambiente. Debido al gran número de sustancias peligrosas que se manejan y almacenan en este tipo de dependencias, a la diversidad de los trabajos que se pueden desarrollar en ellos y a los diferentes grados de exposición, a la complejidad de los procesos de contaminación que pudieran influir en la salud de los trabajadores y la evaluación de su posible peligrosidad, se anuncia como un tema complejo pero imprescindible de abordar. Tengamos en cuenta que lo que está en juego es la salud y la seguridad de quienes trabajan o realizan prácticas en dichos laboratorios.

Tomando en consideración, entre otros, los factores descritos, tendremos ocasión de analizar la peligrosidad de los laboratorios cuya situación no es bien conocida, en la actualidad y que, en ocasiones, no se le presta la debida atención. Laboratorios que revisten peligrosidad, no sólo para la salud de los que en ellos desarrollan su actividad laboral. También, para todos los seres que estén mas directamente relacionados con ellos (como por ejemplo los hijos), para compañeros que trabajan en dependencias anexas, para el medio ambiente, etc.

La actual transposición de la Directiva europea al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 374/2001, unido a la concienciación ciudadana en materia de prevención de riesgos laborales potenciada, sin duda, desde la entrada en vigor de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, impone un escenario de actuación en estos lugares acorde con las exigencias de una sociedad cada día más preocupada por su salud.

Las empresas cuentan para realizar el control de los riesgos relacionados con la presencia de sustancias químicas en los laboratorios de los denominados planes de prevención donde, de manera específica, se han de contemplar este tipo de riesgos. Los criterios bajo los cuales se realizan estos planes, en la mayoría de las ocasiones, carecen de medidas basadas en el conocimiento de la interacción entre los procesos que se generan en el laboratorio. Esta situación, unida a la ausencia de metodologías que permitan priorizar las actuaciones de la planificación preventiva para controlar el riesgo químico en un mismo laboratorio, o incluso, para poder priorizar la actuación preventiva en varios laboratorios, pone de manifiesto la necesidad de elaborar un sistema de evaluación de la peligrosidad en laboratorios químicos basados en hechos objetivos y concretos. La presente investigación, trata de dar respuesta a esa necesidad.

Para ello se plantea como **OBJETIVO PRINCIPAL** el siguiente:

PROPUESTA DE UN MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD EN LABORATORIOS QUÍMICOS.

Como **OBJETIVOS SECUNDARIOS** nos planteamos los siguientes:

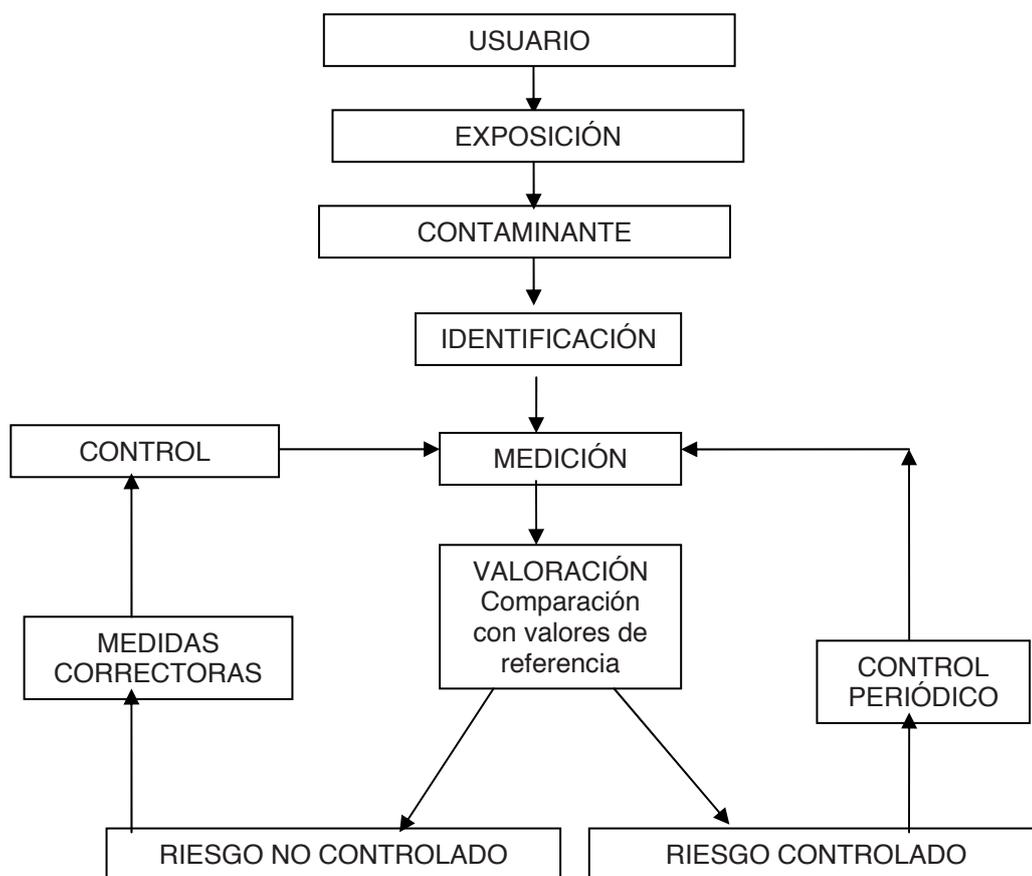
1. Determinación las variables que influyen en los procesos de contaminación química en laboratorios y la relación existente entre ellas.
2. Diagnóstico de la peligrosidad del laboratorio analizado.
3. Propuesta de una herramienta para la clasificación de los laboratorios acorde con su nivel de riesgo químico.
4. Definición de parámetros de sostenibilidad en laboratorios.
5. Elaboración de un sistema de evaluación ambiental aplicable a diferentes laboratorios, que permita comparar diferentes situaciones.
6. Establecimiento de las sustancias más contaminantes que se utilizan en el laboratorio para establecer prioridades a la hora de actuar sobre focos de contaminación.
7. Propuesta de una herramienta que permita planificar las actuaciones y las medidas de contención destinadas al control del riesgo químico en laboratorios.

CAPÍTULO 3

MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS LABORATORIOS QUÍMICOS SEGÚN SU PELIGROSIDAD

3. MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS LABORATORIOS QUÍMICOS SEGÚN SU PELIGROSIDAD.

La presencia de sustancias químicas en los laboratorios contribuye, sin duda, a que la peligrosidad en los mismos resulte patente. Por ello, es de vital importancia determinar la interacción contaminante-persona y evaluar todos los factores que puedan influir en tal relación. En este sentido, la actuación desde la Higiene Industrial, disciplinapreventiva y de carácter técnico, se basa en la aplicación de la metodología que resumimos en el siguiente diagrama de flujo.



Parte, inicialmente, del **usuario** que, por alguna de las vías de entrada a su organismo (respiratoria, dérmica, parenteral y digestiva) sufre una **exposición** a sustancias químicas presentes en el entorno y que, gracias a su agresividad a la salud, son fuentes **contaminantes para el organismo** (estos contaminantes, de manera genérica en el campo de la Higiene Industrial, pueden ser de origen químico, físico -en forma de energía- o biológico). Esta exposición produce lo que suele denominarse “*riesgo higiénico*”.

En nuestro estudio, son estos contaminantes químicos presentes en los laboratorios los que, de una u otra forma, interactúan con la persona. En el proceso expuesto, ante tal circunstancia, hay que evaluar el riesgo de exposición de la persona a los mismos. Para ello, primeramente, se procede a la **identificación** los posibles contaminantes presentes en el entorno y que pueden afectar a la persona. En el caso de contaminantes que puedan estar presentes en el aire, se podrá realizar **medición**¹ de las concentraciones ambientales de los mismos², en los casos en que el contaminante pueda penetrar por vía dérmica, habrá que evaluar dicha exposición por cualquiera de las metodologías existentes y en aquellos casos en los que la exposición sea por vía digestiva o parenteral tendremos que evaluar la calidad de las medidas de control disponibles para, finalmente valorar el riesgo.

Esta **valoración** consiste en la comparación con los valores establecidos como estándar y decidirá si el **riesgo está controlado o no**. En el caso de **riesgo no controlado**, procede la incorporación de **medidas correctoras** del riesgo para el **control** de las diferentes variables que influyen en los procesos de contaminación (sustitución de sustancias peligrosas por otras que lo sean menos, mejora de los sistemas de ventilación, mejoras en los equipos del laboratorios y en su instrumentación, etc...), tras dichos controles, procede, nuevamente, la **medición** y posterior **valoración** e iniciar de nuevo el esquema anteriormente expuesto hasta que el riesgo esté controlado.

En el caso de **riesgo controlado**, deberemos ejercer un *control periódico* de las condiciones de trabajo en general y de la contaminación química en particular que garantice que la peligrosidad del laboratorio no se modifique. Para ello se procederá de nuevo a la **medición** y posterior **valoración**. Si se produce algún condicionante que haga una valoración del **riesgo como no controlado**, se incorporarán las **medidas correctoras** necesarias y de nuevo comenzar el esquema de medición hasta que, definitivamente la *corrección no sea necesaria*, con lo cual entenderemos que el *riesgo*, finalmente, está *controlado*.

Entre los contaminantes causantes de estos riesgos higiénicos, son las sustancias químicas las que en este trabajo nos ocupan. Para su *identificación*, se pueden encontrar en el aire en forma de gases, vapores o aerosoles (polvo, fibras, humos, etc.), en cuyo caso son capaces de penetrar en el organismo a través de la inhalación. Algunos de ellos pueden además atravesar la piel al contactar con ellos o llevar a cabo su efecto tóxico cuando son ingeridos.

¹ Existen ocasiones en que la citada medición puede ser obviada. Para más información, vid, Sicilia, F, Capítulo 25, "Evaluación de la exposición a agentes químicos", pags-351-361, Tratado de Medicina del Trabajo, F. Gil, Ed. Masson. 2012.

² La norma UNE-EN-689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición trata específicamente este tema.

También pueden introducirse a través de heridas o simplemente por difusión a través de la piel deteriorada, siendo una de las tareas principales del higienista industrial la de estudiar la interacción sustancia química-persona.

Tradicionalmente, la forma de *evaluar* un riesgo higiénico por exposición a contaminantes químicos, ha pasado por la *medición* de unas variables que indiquen en qué magnitud se encuentra el contaminante en el ambiente laboral y en qué medida incide en el trabajador. En estos casos, normalmente, sólo se tiene en cuenta la exposición ambiental al agente que pudiera penetrar en el organismo por vía respiratoria³, sin ser tenidas en cuenta las otras vías de entrada del contaminante en el organismo humano, anteriormente citadas. Por ello, en nuestra metodología, la medida de la concentración ambiental de contaminantes químicos y la exposición de las personas a los mismos, es otra variable más que tenemos en cuenta a la hora de evaluar la peligrosidad en un laboratorio, junto a otras como: la peligrosidad de la sustancia en sí, grado de uso, almacenamiento, ventilación existente, condiciones de la instalación, uso de EPIs, o el grado de formación de las personas en el manejo de sustancias químicas peligrosas, entre otras.

También hay que tener en cuenta que, para gran parte de estos contaminantes químicos existen, además, unos valores límite de exposición establecidos como niveles de seguridad específicos de cada contaminante en función de su peligrosidad⁴, siendo, por tanto, también una de las características a valorar.

En esta valoración de la peligrosidad de los contaminantes químicos tendremos que tener en cuenta, además, que los efectos adversos para la salud provocados por la exposición a los diferentes contaminantes pueden aparecer a largo o a corto plazo según sean las magnitudes de las dosis recibidas por las personas expuestas y las características del contaminante. Este hecho siempre ha sido aludido⁵ como uno de los factores determinantes a la hora de evaluar la exposición a un contaminante determinado. En este sentido, cabe destacar que los límites de seguridad anteriormente descritos (en realidad su denominación correcta es la de valores límites de exposición) pueden ser básicamente de dos tipos⁶, Valor Límite Ambiental de Exposición

³ Esta visión parcial de la valoración higiénica sólo tiene en cuenta la exposición del trabajador al contaminante por vía respiratoria. Nuestra metodología intenta dar un enfoque mucho más global a este proceso de evaluación teniendo en cuenta todas las posibles vías de entrada del contaminante.

⁴ Véase “Límites de exposición profesional para agentes químicos ambientales”, editado por el INSHT, año 2011.

⁵ Véase en bibliografía “Guía técnica para la determinación y evaluación de la exposición laboral a agentes químicos. Editorial INSHT. 2003”.

⁶ Nos referimos, en concreto, a los VLA-EC y VLA ED. En España existen también los denominados Límites de desviación (LD), en donde para los agentes químicos que tienen asignado VLA-ED pero no VLA-EC, se establece el producto de 3xVLA-ED como valor

Corta (VLA-EC) y Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria, (VLA-ED). Los VLA-EC, definidos como valores máximos en exposiciones cortas (que no se pueden superar durante más de 15 minutos en ningún momento de la jornada laboral⁷) y los VLA-ED como valores máximos promedio de exposición diaria donde la “media” de la concentración, durante la jornada, no puede superar ese nivel⁸. No obstante, tal como apuntamos en el apartado primero de la introducción al referirnos a la peligrosidad asociada a ciertos contaminantes químicos, tendremos siempre que tener en cuenta la existencia de algunos, como por ejemplo los agentes citotóxicos, ya que la exposición ambiental a esta clase de sustancias no es admisible y por tanto, no se debe permitir el que una persona esté expuesta a ninguna dosis de este tipo de contaminantes⁹ por ninguna vía de entrada.

Por otra parte, el tiempo de exposición a un contaminante, es decir, el tiempo que los trabajadores están sometidos durante su jornada laboral a la acción del mismo, se expresa habitualmente en horas o minutos por jornada.

La importancia de esta variable en la valoración del riesgo higiénico es notable en aquellos contaminantes que actúan a largo plazo (con VLA-ED), para los que la cuantificación de la exposición se expresa como producto del tiempo de exposición por la variable que expresa la cantidad de contaminante (concentración) en el ambiente de trabajo. En estos casos, por ejemplo, la exposición de un trabajador se puede disminuir rebajando la concentración ambiental existente o disminuyendo el tiempo de exposición mediante una adecuada organización del trabajo, de forma que en promedio no se superen las dosis de exposición tolerables.

Cuando el contaminante tiene asignado un valor “techo”, lo importante, realmente, es la probabilidad de que se supere ese valor en cualquier momento de la jornada y no tanto del tiempo de exposición ya que, aunque puede depender del tiempo de exposición, éste no tiene por qué ser el determinante del riesgo. Simplemente con que se supere tan sólo durante 15 minutos el VLA-EC a lo largo de las ocho horas de trabajo, ya se habría incumplido, en este caso, el estándar del valor límite.

que no deberá superarse durante más de 30 minutos en total a lo largo de la jornada de trabajo, no debiéndose superar en ningún momento el valor 5xVLA-ED.

⁷ Hace referencia a los valores límites ambientales de Exposición corta: VLA-EC

⁸ Hace referencia a los valores límites ambientales de exposición diaria: VLA-ED. La definición exacta de los términos aquí citados se puede consultar en el anexo IV de la presente investigación, extraída del Documento sobre valores límite de exposición profesional a agentes químicos en España.

⁹ Dosis es la cantidad de contaminante absorbida por el organismo expresada en peso de contaminante dividido por Kg. del organismo que lo absorbe.

Estas variables nos introducen en la complejidad de determinar la peligrosidad que implica trabajar en un laboratorio¹⁰, donde la valoración correcta de un riesgo higiénico debe contemplar no sólo estos factores, sino también aquellos otros factores que pueden incrementar la exposición a las sustancias químicas. Así por ejemplo, a modo de introducción, podríamos citar la existencia de otras vías de entrada distinta a la inhalatoria de los contaminantes en el organismo, que pueden incrementar la dosis recibida y que pueden estar favorecidos por la existencia, adicionalmente, de hábitos negativos, como el comer o fumar durante el trabajo o, por ejemplo, el insuficiente aseo higiénico personal.

Esta incidencia global para el organismo humano sólo es posible estudiarla para ciertos contaminantes que poseen Valores Límite Biológicos (VLB)¹¹. Se realiza mediante el control biológico. Su incidencia en la exposición global en los individuos se hace determinando la presencia en el organismo de las sustancias presentes en el ambiente, o sus “indicadores” como compuestos resultantes de la metabolización de los mismos. La sangre, la orina, el cabello o las uñas suelen ser los soportes analíticos donde se pueden hallar y cuantificar esas sustancias. En general, los VLB representan los niveles más probables de los indicadores Biológicos¹² en trabajadores sanos sometidos a una exposición global a agentes químicos, equivalente, en términos de dosis absorbida, a una exposición exclusivamente por inhalación del orden del VLA-ED. La excepción a esta regla la constituyen algunos agentes para los que los VLA asignados protegen contra efectos no sistémicos¹³.

Las susceptibilidades individuales frente a ciertos riesgos higiénicos deben también conocerse para valorar éstos en su auténtica magnitud. Las mujeres embarazadas, las personas con afecciones alérgicas o problemas físicos deben ser objeto de mayor protección frente a algunos contaminantes (alérgenos, mutagénicos, cancerígenos, etc.).

¹⁰ En nuestro estudio, tienen interés aquellos laboratorios en los que se manejen sustancias químicas.

¹¹ Son aquellas sustancias químicas que tienen establecido un Valor Límite de Exposición Biológico (VLB). Son valores de referencia para los indicadores biológicos asociados a la exposición global a los agentes químicos, acorde con lo establecido en el documento de Valores Límites ambientales de exposición profesional en España editado por el INSHT del Ministerio de Trabajo en España para 2011.

¹² Indicador biológico es aquel parámetro apropiado en un medio biológico del trabajador/a, que se mide en un momento determinado, y está asociado, directa o indirectamente, con la exposición global, es decir, por todas las vías de entrada, aun agente químico.

¹³ Efecto sistémico: Es aquel efecto sobre la salud de carácter generalizado o que ocurre en distinto lugar de aquel por el que el agente penetró en el cuerpo. Requiere la absorción y distribución del tóxico por el cuerpo. Fuente: Asociación Española de Toxicología. Glosario de términos toxicológicos. Versión española ampliada por M. Repetto y P. Sanz. Sevilla: AET; 1995. (AET)

Finalmente, el procedimiento y la labor del higienista industrial no concluye hasta que no se controla la exposición a los riesgos. Nada tiene sentido si el fin último no es la propuesta y adopción de medidas de *control* efectivas que realmente protejan a la persona.

Estas y otras características han de ser tenidas siempre en cuenta por el higienista industrial para la valoración de la peligrosidad. De su exhaustividad y detalle depende no sólo la calidad de la evaluación, también, probablemente, la salud de las personas que se puedan ver afectadas.

3.1. Identificación de peligros.

3.1.1. Recogida de información para la identificación de las variables.

En el proceso de identificación del contaminante químico y de interacción con las personas es indispensable la *visita al laboratorio*.

Para poder identificar los productos químicos a los que puede estar expuesto la persona que trabaja y las diferentes circunstancias que lo envuelven se propone la siguiente metodología:

- a) *Inspección visual del laboratorio*. En ella se deben tener en cuenta todas las variables que influyen en los procesos de contaminación del laboratorio y que impacten en la peligrosidad del mismo: los lugares de trabajo, almacén de productos químicos (si lo hubiera), armarios que contengan productos, los armarios de seguridad disponibles y, en todos los casos, la cantidad de cada producto almacenada. Atención específica tendrán los aspectos incluidos en las variables a valorar, sistemas de ventilación existentes, equipos utilizados, etc.¹⁴ El cuestionario diseñado, tras una primera redacción durante el periodo de investigación tutelada, se sometió a validación mediante valoración por expertos y prueba piloto (véase anexo I).
- b) *Entrevista personalizada* con el responsable del laboratorio (véase anexo II)¹⁵. Sólo así podremos obtener información más específica sobre las técnicas utilizadas, la forma habitual de trabajo y las sustancias habitualmente utilizadas.

¹⁴ En este sentido se pueden ver las variables a valorar en el anexo I: Cuestionario de índices de laboratorio (IL) y de la persona (Ir).

¹⁵ Anexo relativo al cuestionario de entrevista personalizada que hemos propuesto.

En este sentido, acorde con las necesidades descritas de información, a lo largo de nuestro estudio hemos usado procedimientos de generación y recogida de información de los laboratorios evaluados¹⁶, que hemos clasificado en dos grupos: *procedimientos estructurados* y *procedimientos no estructurados*. Procedamos a su desarrollo.

3.1.1.1 Procedimientos estructurados.

En este tipo de procedimientos, el higienista industrial, personal técnico en la investigación, tiene ya un plan que determina el tipo de información que debe recopilarse.

Las técnicas de este grupo son la observación estructurada y la entrevista planeada.

a) *Observación sistemática y estructurada. Observación directa.* La hemos utilizado, principalmente, para obtener información sobre el estado de las instalaciones de los laboratorios. Durante la visita a las instalaciones, la información requerida en los cuestionarios (vid. anexos I y II) la hemos recogido en el diario de campo y posteriormente realizamos el análisis de los datos y se cumplimentaron los impresos correspondientes.

El primer cuestionario, denominado “*Cuestionario de Índices del Laboratorio y de la persona*” (vid. anexo I), permite identificar, de manera general, las deficiencias encontradas en las diferentes áreas del mismo con respecto a sus “*Condiciones de Trabajo*”¹⁷. Este cuestionario se centra en aquellos aspectos relacionados con el riesgo de exposición a contaminantes químicos, condiciones ambientales y aspectos relacionados, todos ellos competencia de la Higiene Industrial, y que se detallan a continuación. Es de extensión necesariamente limitada y cubre una gran variedad de situaciones de trabajo diferentes. Por este motivo, el esfuerzo se ha concentrado en presentar una herramienta fundamentalmente informativa que permita, además, obtener una evaluación elemental acerca de cuál es el nivel de conocimiento y control existente en los laboratorios respecto a las diferentes fuentes de peligros químicos. Para

¹⁶ En el capítulo 4 de resultados se exponen los resultados tras aplicar nuestra metodología en 40 laboratorios de la UGR.

¹⁷ Como condición de trabajo se entiende a las definidas en el art. 4 de la Ley 31/1995: “Se entenderá como condición de trabajo cualquier característica del mismo que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud del trabajador. Quedan específicamente incluidas en esta definición: A) Las características generales de los locales, instalaciones, equipos, productos y demás útiles existentes en el centro de trabajo, B) La naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente de trabajo y sus correspondientes intensidades, concentraciones o niveles de presencia. C) Los procedimientos para la utilización de los agentes citados anteriormente que influyan en la generación de los riesgos mencionados. D) Todas aquellas otras características del trabajo, incluidas las relativas a su organización y ordenación, que influyan en la magnitud de los riesgos a que esté expuesto el trabajador.

comprobar las garantías científicas de los dos cuestionarios, una vez efectuada la primera redacción de los mismos, se procedió a someterlos a un juicio de expertos durante el periodo de investigación tutelada. Las aportaciones ofrecidas en la defensa del trabajo fueron tenidas en cuenta a la hora del diseño definitivo de los cuestionarios que figuran en los anexos I y II.

En la tabla siguiente se relacionan las diferentes variables influyentes que hemos tenido en cuenta a la hora de valorar la peligrosidad en un laboratorio y las condiciones de trabajo peligrosas de los mismos.

Tabla 1. Condiciones de peligrosidad y variables asociadas.

Condiciones de peligrosidad relacionadas con las sustancias químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Peligrosidad de las sustancias químicas • Cantidad usada de sustancias • Tendencia a pasar al ambiente de ellas
Condiciones de peligrosidad asociadas al entorno y medio ambiente de la persona	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de sustancias peligrosas • Ventilación general • Posibilidad de encerrar el foco de contaminación y forma de trabajar • Extracción localizada • Mantenimiento de instalaciones • Mantenimiento de equipos
Condiciones de peligrosidad asociadas a la persona	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de exposición • Uso de Protección Respiratoria • Uso de Protección dérmica • Uso de protección ocular • Prácticas higiénicas personales. • Formación del trabajador

En ocasiones es posible la presencia de *situaciones de discomfort* en los laboratorios cuyas variables relacionadas no las hemos recogido en nuestros cuestionarios. Así, por ejemplo, no hemos tenido en cuenta las condiciones de confort térmico o acústico aunque, y en la medida de lo posible, conviene recogerlas en el documento en el apartado de observaciones previsto para una posterior evaluación.

La cumplimentación de los cuestionarios que se presentan y la conclusión de que una determinada condición es peligrosa o no, no puede considerarse definitiva, sino como el primer

paso para, cuando sea razonable, afrontar un estudio más profundo que, seguramente, deberá incluir mediciones y otras técnicas de evaluación, que faciliten aún más la relación y priorización de las medidas preventivas a adoptar en cada laboratorio.

b) *Entrevista planeada*. La hemos llevado a cabo mediante la elaboración de una serie de preguntas que el entrevistador memoriza o anota para no olvidar los aspectos que desea conocer y cuyas respuestas anota textualmente.

El número de preguntas es limitado y se persigue que los informantes contesten libremente (vid., Anexo II). Ésta técnica debe utilizarse para recoger información que nos ayudara a describir el puesto de trabajo y los riesgos que a éste le afectan.

En este tipo de técnicas, no es factible precodificar las respuestas ya que la variedad de las mismas hace imposible considerar toda la gama que se pueden obtener como producto de un elevado número de entrevistas.

Se consigue así que la persona entrevistada se sienta con mayor libertad para presentar sus puntos de vista sobre las condiciones de trabajo, y por tanto ofrecer información adicional, que es de gran utilidad por el objetivo del estudio. Esto no ocurre con la encuesta, ya que su propio diseño limita esa posibilidad, pese a ser una técnica muy usada, sobre todo, en la investigación de mercado.

Los inconvenientes que presenta la encuesta justifican que no se utilizara en nuestro estudio. Bajo nuestro punto de vista, en este estudio, la encuesta puede no tener en cuenta ciertos factores y puede silenciar a las personas consultadas, que sólo pueden responder a las preguntas que se les formulan, dentro de los rangos previamente establecidos por quienes la han elaborado.

Para mantener entrevistas con los integrantes del grupo, (además de la observación directa de los puestos de trabajo), mantuvimos reuniones con los/as responsables del laboratorio objeto de la evaluación, comentando el desarrollo y objetivos del presente estudio, intentando dar un enfoque positivo sobre la prevención de riesgos laborales y haciéndoles/as partícipes de toda acción a emprender.

En las reuniones con las personas responsables de los laboratorios se tomó nota principalmente de la clasificación de los diferentes puestos de trabajo dependiendo de las tareas que se ejecutan, procesos que sigan o instrumentación y equipos que manejen, así como de los

principales riesgos y los más comunes con los que se tendría que trabajar, según se recoge en el cuestionario de entrevista planeada usado, (ver anexo II.)

3.1.1.2. Procedimientos no estructurados.

Estos procedimientos, más flexibles que los anteriores, requieren más tiempo para su utilización y pretenden principalmente el conocimiento de la situación que real dentro del mismo laboratorio. La persona que investiga se constituye como espectadora que registra las situaciones que presencia directamente.

Dentro de este grupo, usamos la entrevista abierta semidirecta. Es la técnica que mejor consigue la interacción entre la persona consultada y la persona que lleva a cabo la investigación. Consiste en el diálogo “cara a cara”, directo y espontáneo entre la persona entrevistada y la que entrevista, que orienta el discurso lógico y afectivo de la entrevista de forma más o menos directa, según la finalidad perseguida en cada caso. Procuramos así establecer un ambiente tranquilo con libertad de expresión en el que la conversación surja de manera natural.

Lo que aspiramos a “ver” y podemos estudiar en el discurso del entrevistado (el trabajador/a), son sus problemas profesionales y las características del puesto de trabajo, disponibilidad de medidas de control y eficacia de la gerencia en la gestión de riesgos profesionales. Esta técnica debe usarse con el personal implicado en todos y cada uno de los puestos estudiados.

Estas entrevistas las hemos utilizado, principalmente, con las personas implicadas para obtener información sobre los problemas del laboratorio, descripción real de puestos de trabajo y tareas que realizan, deficiencias en operaciones básicas del laboratorio¹⁸ u otros aspectos organizativos, difíciles de detectar a través de la entrevista planeada.

Cuando en un puesto de trabajo existió más de una persona, las personas entrevistadas, se escogieron atendiendo a criterios de representatividad acorde con los establecidos en la norma UNE EN 689¹⁹.

¹⁸Operaciones básicas son todas aquellas operaciones que se realizan en un laboratorio con el objetivo de realizar una experiencia, observación y/o investigación relacionada con las sustancias químicas.

¹⁹ Acorde con la citada norma en número de trabajadores representativos es el del Número de trabajadores a muestrear por puesto de trabajo. Grupos homogéneos de exposición (GHE)

La existencia de varias personas que realizan tareas similares en condiciones ambientales parecidas, plantea la posibilidad de realizar entrevistas a una parte de ellos y ahorrar medios, considerando que la exposición es común a todos. Los resultados son considerados entonces como correspondientes a una única exposición y se tratan como tales. El grupo de trabajadores se denomina entonces Grupo Homogéneo de Exposición (GHE).

3.2. Definición de parámetros y medición de variables influyentes en la peligrosidad.

3.2.1. Condiciones de aplicación de la metodología.

Las condiciones de partida a la hora de considerar la aplicación de la metodología son las siguientes:

- La metodología es aplicable a laboratorios donde se manejen sustancias químicas.
- No es aplicable cuando se manejen sustancias químicas radiactivas.
- El diagnóstico de la presente metodología únicamente es válido en el momento de la evaluación, disminuyendo su fiabilidad con el tiempo excepto si se produce un seguimiento o retroalimentación.

3.2.2. Parámetro.

Se define como parámetro aquel elemento del entorno que es potencial receptor del impacto producido por el trabajo en el laboratorio y que es influenciado por las diferentes variables.

En nuestro estudio el parámetro considerado es la contaminación química del laboratorio.

3.2.3. Definición de Variables.

Una variable es aquella que, dada su influencia en los procesos de contaminación del laboratorio, influye directa o indirectamente sobre el parámetro descrito, en nuestro caso, la contaminación química del medio donde de las personas trabajan con sustancias químicas.

Cuando hay presencia en el lugar de trabajo de sustancias químicas o mezcla de las mismas se genera un riesgo debido a la peligrosidad intrínseca de ellas. El riesgo puede ser transmitido por el medio de propagación hasta que finalmente es la persona quien percibe el riesgo.

Tendremos, por tanto, tres tipos de variables a tener en cuenta:

Variables relacionadas con la sustancia o mezcla (foco)

Variables relacionadas con el laboratorio (entorno o medio)

Variables relacionadas con la persona (persona receptora)

3.2.3.1. Variable relacionada con la sustancia o mezcla (foco).

Cada sustancia manejada “i” tiene una peligrosidad intrínseca que hemos definido como *Índice global de riesgo de la sustancia química (Is_i)* que tendremos que tener en cuenta. Habrá que considerar que se manejan más de una de sustancias químicas en el laboratorio, y por tanto tendremos que tenerlas en cuenta a los efectos de determinar la peligrosidad debida a todas ellas.

En la bibliografía consultada existen varios criterios que tienen en cuenta la peligrosidad de las sustancias químicas manejadas. Uno de ellos, el descrito en el Manual de Higiene Industrial [14], es el índice de Peligrosidad de Agentes Químicos que se define para caracterizar la peligrosidad de un disolvente orgánico. Así, para disolventes orgánicos el índice de peligrosidad²⁰ es la relación entre la capacidad de pasar al estado de vapor de una sustancia y la toxicidad propia del compuesto (relación ppm/ppm, de la concentración de la sustancia en el estado de vapor en equilibrio a 25 °C y su valor límite ambiental de exposición diaria (VLA-ED).

Una sustancia que posea una mayor presión de vapor, se difundirá en el ambiente con mayor facilidad que otra, aumentando por tanto las posibilidades de que las personas la respiren o estén en contacto con ella e influyendo en la peligrosidad de la exposición.

²⁰Referencia, Manual de higiene industrial. Capítulo 2: Contaminantes químicos. Pags. 57-60. Ed. Mapfre. Año 1991.

Imagen 5. Peligrosidad asociada a contaminantes químicos. Fuente: Manual de Higiene Industrial. Ed. MAPFRE.

Líquidos orgánicos ordenados según la peligrosidad de sus vapores

Sustancia	Peligrosidad (a)	TLV (b)
Bromuro de etilo (c) (d)	121200	5
Acrilonitrilo (d)	112000	2
Disulfuro de carbono	46000	10
Butilamina	34000	5
Dietilamina	31500	10
Tetracloruro de carbono (d)	28340	5
Cloroformo	24850	10
Alcohol alílico	16450	2
Tetranitrometano	15800	1
Dicloruro de etileno (d)	11600	10
Cloruro de metileno (d)	8640	50
1,1,2,2, tetracloroetano	8420	1
n-hexano	4100	50
Formiato de etilo	3160	100
Metil cellosolve	3150	5
Nitrometano (c)	2170	20
Tricloroetileno (d)	2000	50
Acido acético	1970	10
Dioxano (d)	1960	25
Cellosolve (2-etoxietanol)	1840	5
Etilendiamina	1710	10
Cloruro de bencilo (d)	1580	1
Clorobenceno (c)	1575	10
Dicloroetano	1450	200
Eter etílico	1380	400
Acetato de metilo	1380	200
Anhídrido acético	1340	5
2-hexanona (metil n-butil cetona)	1000	5
1-nitropropano	986	25
Dicloruro de propileno	910	75
Oxido de mesitilo	893	15
Dimetil anilina	870	5
Eter isopropílico	840	250
Acetato cellosolve	840	5
Alcohol metílico	820	200
Acetato de metil cellosolve	815	5
Pentano	750	600
2-butanona (metil etil cetona)	625	200
Fenil hidracina (c) (d)	550	0,1
Metilal	526	1000
1,1,1 tricloroetano (metil cloroformo)	489	350
Nitrobenceno	474	1
Percloroetileno (d)	474	50

Sustancia	Peligrosidad (a)	TLV (b)
Ciclohexano	427	300
Acetato de propilo	390	200
Acetona	387	750
Tolueno	368	100
Anilina (d)	330	2
Acetato de etilo	303	400
Eter dicloroetílico	288	5
Metil isobutil carbinol	263	25
Nitroetano	263	100
Ciclohexanona	226	25
Alcohol isoamílico	220	100
Monómero de estireno (d)	194	50
Metil isobutil cetona	186	50
Alcohol butílico	184	50
Cresol (todos los isómeros)	184	5
o-toluidina (d)	165	2
Nafta petróleo	158	300
n-heptano	151	400
Metilciclohexano	151	400
Diisobutil cetona	142	25
Alcohol isopropílico	140	400
Nitrotolueno	137	2
Fenol	132	5
Isoforona	130	5
Etilbenceno	126	100
2-pentanona (metil propil cetona)	112	200
Acetato de butilo	105	150
Xileno	100	100
o-metilciclohexanona	94	50
Alcohol etílico	76	1000
Terbutil tolueno	72	10
Trementina	66	100
Octano	57	300
Acetato de amilo	53	100
Ciclohexanol	47	50
Solvente Stoddard	35	100
Metil ciclo hexanol	14	50
o-diclorobenceno	9	50
Diacetón-alcohol	8	50

(a) Relación (ppm/ppm) de la concentración de vapor en equilibrio a 25 °C con el Valor Límite Umbral.

(b) De los valores umbrales adoptados para 1990-1991 por la A.C.G.I.H.

(c) El valor TLV indicado para estas sustancias corresponde al cambio propuesto para 1990-1991 por la A.C.G.I.H.

(d) Probable carcinógeno, el TLV puede ser menor, consultar última lista de TLV's.

Este índice de peligrosidad expuesto tiene el gran inconveniente de no clasificar a otras muchas sustancias químicas que revisten peligrosidad y que al ser utilizadas no tienen capacidad de evaporarse tan fácilmente como los compuestos orgánicos como, por ejemplo, un ácido corrosivo.

Un mejor análisis de la peligrosidad en el manejo de contaminantes químicos es, bajo nuestro punto de vista, el criterio de peligrosidad publicado recientemente por el INSHT²¹. Este criterio tiene en cuenta la peligrosidad de cada sustancia a través de su índice de riesgo (Is)²². Este índice del nivel de riesgo potencial global de sustancias químicas tiene en cuenta:

- Riesgo intrínseco de la sustancias. Relacionado con la frases de riesgo “H”, acorde con el Reglamento (CE) 1272/2008. de la sustancia química, anteriormente frases “R”.
- Capacidad de pasar al medio ambiente.
- Cantidad diaria de sustancia química usada.

Acorde con este índice y a modo de conclusión, cuanto mayor nivel de riesgo intrínseco de la sustancia, mayor capacidad para pasar al ambiente y mayor cantidad usada, mayor será el potencial contaminante de la misma y por tanto mayor su índice de riesgo. Este hecho, trasladado a nuestra metodología, implicaría que, a mayor Índice de riesgo, mayor nivel de peligrosidad del laboratorio. Si además tenemos en cuenta que en los laboratorios no se trabaja con una sola sustancia si no con varias a la vez y habitualmente de manera simultánea, con cuantas más sustancias se trabaje, lógicamente, mayor índice se obtendrá. Este aspecto global al trabajar con numerosas sustancias no es tenido en cuenta en la propuesta metodológica del INSHT, y sí, de manera significativa, en el desarrollo metodológico de nuestra tesis a través del Índice Global de Riesgo (Is).

3.2.3.2. Variables asociadas al laboratorio (entorno o medio).

Cada laboratorio es único y particular. En el interior del mismo existen instalaciones, equipos especiales y procesos característicos que igualmente han de tenerse en cuenta en la valoración de la peligrosidad. Estas variables se tienen en cuenta, en nuestra metodología, a través del *Índice Potencial contaminante del Laboratorio “IL”*. Un ejemplo, de variable de laboratorio para el estudio de la contaminación química ambiental en el interior del laboratorio, es la existencia o no de ventilación forzada; Esta variable ofrece información del “estado ambiental del laboratorio” y cómo afecta al riesgo de exposición a sustancias químicas de las personas, dependiendo del grado y eficacia de la ventilación existente.

²¹ Véase NTP 750 del INSHT: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología simplificada.

²² Este método, aunque adaptado a nuestro estudio, de una manera más detallada se desarrolla en el apartado 3.4.2.

El estudio de las variables propuestas nos permitirá cuantificar la peligrosidad que posee el laboratorio. El conocimiento de la variable y su análisis cuantitativo y cualitativo indicarán la interacción con la persona que trabaja en el momento de la evaluación.

El objetivo del análisis de estas “variables de laboratorio” se centra en la cuantificación del potencial de contaminación del laboratorio y con ello la descripción del estado del laboratorio y la interacción con el entorno inmediato en el momento de la visita. Es decir, las “variables de laboratorio” pretenden describir, la dinámica de trabajo en el laboratorio. La manera de tenerlas en consideración en nuestra metodología es mediante el concepto de potencial de contaminación del laboratorio. De esta forma serán seleccionadas una serie de variables y cada una de ellas poseerá una clasificación de la variable (C_i) y una ponderación de la variable (P_i) que pueden ser diferentes según la valoración de cada variable del laboratorio.

La clasificación (C_i) dependerá de la condición en la que se encuentre la variable y será la que aporte información sobre el “estado” del laboratorio, indicando su interacción con la persona que trabaja. Por ejemplo, la variable ventilación se clasificará en: “ventilación óptima”, “ventilación deficiente” y “sin ventilación”. A esta clasificación se le asignará un valor determinado.

Para obtener la ponderación (P_i) de la variable se define el concepto de “elementos primarios del laboratorio” o lo que es lo mismo, elementos directos que afectan a la contaminación química del laboratorio (definida como parámetro) y que no son mecanismos de control.

Los elementos primarios son:

- Concentración ambiental de sustancias químicas peligrosas.
- Cantidad de productos químicos usados.

Los conceptos de concentración ambiental de sustancias químicas peligrosas y cantidad de productos químicos usados, están íntimamente relacionados con la contaminación del laboratorio y por tanto con los posibles daños a la salud que pueden producir y su peligrosidad. De esta manera, aquellas variables que están directamente relacionadas con estos elementos denominados “primarios” proporcionarán una mayor ponderación (doble en el caso de las diferentes variables del laboratorio que les afecten directamente) que otras variables cuyo efecto no influya directamente sobre estos dos elementos primarios establecidos.

El análisis de las variables se ha realizado de acuerdo con las condiciones de riesgo que las relacionan. Así, y tal y como se expuso en el apartado de recogida de información (ver página 92), se han tenido en cuenta las siguientes variables relacionadas con los siguientes peligros:

Tabla 2. Peligros relacionados con el laboratorio y variables relacionadas.

PELIGROS	VARIABLES
<ul style="list-style-type: none">• Almacenamiento de sustancias peligrosas• Extracción localizada• Ventilación general• Mantenimiento de instalaciones• Mantenimiento de equipos	<ul style="list-style-type: none">• Índice de Almacenamiento de sustancias peligrosas• Índice de Extracción localizada• Índice de Ventilación general• Factor de manejo de sustancias• Índice de Mantenimiento de instalaciones• Índice de Mantenimiento de equipos

A continuación hacemos una breve descripción de las variables incluidas en la tabla justificando su existencia.

Índice de peligrosidad debido al almacenamiento de las sustancias químicas (Ia).

Indica la calidad del almacenamiento de las sustancias peligrosas. Se justifica debido al hecho de que en un almacén inadecuado, se hace mucho más probable un derrame accidental o escapes de sustancias químicas peligrosas que haría aumentar la contaminación en el laboratorio. Además, un almacenamiento de sustancias químicas teniendo en cuenta criterios de compatibilidad basados en sus propiedades químico-físicas²³ contribuirá a disminuir la peligrosidad del laboratorio.

²³En tal sentido véase la NTP 456 sobre almacenamiento de productos químicos en laboratorios. Criterios de compatibilidad.

Índice de peligrosidad debido a la extracción localizada de contaminantes químicos (ILO).

Tiene en cuenta la existencia y uso adecuado de las “vitrinas de gases”, dispositivos de extracción localizada en el laboratorio y la forma habitual de trabajar. Se justifica porque al trabajar en las mesas, sin ningún sistema de extracción localizada, la probabilidad de difusión del contaminante es mayor, aumentando por tanto su peligrosidad.

Índice de peligrosidad debido a la ventilación general del laboratorio (IV).

Se justifica debido a que en un laboratorio donde existan carencias de ventilación, la probabilidad de que existan atmósferas contaminadas es mayor debido a la escasa o nula renovación del aire de su interior.

Factor de manejo de sustancias (k).

Tiene en cuenta la forma en que se manipulan las sustancias químicas. Si hay aplicación de las mismas mediante mecanismos que las dispersen o pulvericen en el entorno o bien, cuando las superficies expuestas al ambiente están impregnadas de sustancias químicas. Tiene en cuenta la posibilidad de encerrar el foco emisor de contaminación que impida la difusión de la contaminación por el ambiente de trabajo.

Índice de peligrosidad debido a las instalaciones (Im).

Tiene en cuenta la peligrosidad debido a las instalaciones y su mantenimiento, las condiciones del suelo, mobiliario y superficies de trabajo (poyatas). También se tienen en cuenta las instalaciones de gases, eléctrica y de protección contraincendios del laboratorio.

Índice de peligrosidad debido a los equipos (Ie).

Contempla aspectos que relacionan la peligrosidad con el estado de los equipos de medición, instrumentación y utillaje propio del laboratorio (como por ejemplo el material de vidrio).

3.2.3.3 Variables relacionadas con la persona (persona receptora).

El daño a la salud que puede sufrir una persona que trabaja en un laboratorio se puede traducir en pequeñas lesiones en nuestro organismo, como por ejemplo, cortes y quemaduras leves o en accidentes graves que pueden llegar a provocar incluso la muerte, como por ejemplo aquellos debidos a explosiones en el interior de los laboratorios.

La persona es el centro receptor primario²⁴ de las diferentes fuentes de peligro del laboratorio. De hecho, hay variables que influirán en el peligro del mismo laboratorio y que están relacionadas con la forma de interactuar entre las personas con el laboratorio y las sustancias manejadas. Un ejemplo fácil de entender es la clara disminución del peligro cuando las personas que trabajan en el laboratorio están formadas en prevención de riesgos y son conscientes de la peligrosidad de los productos que manipulan. Está demostrado que la formación disminuye la siniestralidad en los laboratorios, haciéndolos, por tanto “menos peligrosos”²⁵.

Tabla 3. Peligros relacionados con la persona y variables relacionadas.

PELIGROS	VARIABLES
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de protección respiratoria • Uso de protección dérmica • Uso de protección ocular • Prácticas higiénicas personales • Formación de la persona • Tiempo de exposición al contaminante 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de protección respiratoria • Índice de protección dérmica • Índice de protección ocular • Índice de prácticas higiénicas personales • Índice de formación de la persona • Índice de tiempo de exposición al contaminante

²⁴ Un enfoque global de nuestro estudio ha de definir como receptor secundario al medio ambiente. En este sentido, cabe la posibilidad de definir variables que afecten al medio ambiente y que profundicen en su impacto. Este hecho redundaría en una mejor definición de índices que estuvieran relacionados con la sostenibilidad del laboratorio. Se deja pues como apartado en el cual se podría seguir investigando.

²⁵ La información y formación en prevención de riesgos en el manejo de sustancias químicas está incluido en el REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, art. 9.

Índice de peligrosidad debido a la protección respiratoria (Ipr).

Mide o valora el aumento de la peligrosidad de la exposición por no hacer uso de la protección respiratoria adecuada.

El índice se justifica ya que un trabajador que use una adecuada protección respiratoria tiene muy pocas probabilidades de ser afectado por una atmósfera contaminada.

Índice de peligrosidad debido a la protección dérmica (Id).

Considera el aumento de la peligrosidad de la exposición por no hacer uso de la protección dérmica adecuada. Este índice se justifica debido a que personas que usen protección dérmica adecuada impedirán que las sustancias químicas penetren a través de la piel durante su manejo. En exposiciones a agentes químicos ésta vía de entrada dérmica es la segunda en importancia, tras la vía respiratoria y tiene especial relevancia en accidentes donde se manejan sustancias corrosivas que dañan especialmente la piel y los ojos.

Índice de peligrosidad debido a la protección ocular (Io).

Considera el aumento de la peligrosidad de la exposición por no hacer uso de la protección ocular adecuada. El índice se justifica debido a que personas que usen protección ocular adecuada impedirán que las sustancias químicas penetren a través de la membrana ocular durante su manejo.

Índice de formación en prevención de riesgos por exposición a agentes químicos (If).

Esta variable pretende objetivizar cómo influye la formación de la persona en el trabajo relacionado con sustancias químicas. El grado de concienciación obtenido a través de la formación recibida a la hora del manejo de cierto tipo de sustancias (especialmente las más peligrosas) es una variable importante a tener en cuenta. De hecho, la persona formada realiza con mayor detenimiento y concentración aquellas operaciones que entrañan una mayor peligrosidad, (especialmente las básicas de laboratorio como trasvase, calentamiento, etc.). No obstante, el comportamiento humano es complejo de entender y, en ciertas ocasiones, el trabajo rutinario y la constante exposición al riesgo, nos lleva a cometer imprudencias difícilmente justificables. No es objeto de nuestro estudio realizar un análisis pormenorizado de estas actuaciones sino, más bien, el de tener en cuenta cómo influye la formación durante el manejo

de sustancias químicas en los laboratorios como variable en la determinación de la peligrosidad de la exposición.

Índice de peligrosidad debido a las prácticas de higiene personal (Ih).

Se tiene en cuenta en este caso la existencia o no de prácticas de higiene personal exigibles en los laboratorios por la repercusión que tienen en la salud de las personas. Por ello, tendríamos que tener en cuenta factores como el lavado de cara y manos antes de salir del laboratorio, lavado de bata por la empresa sin llevarla al domicilio particular, no comer, beber y no fumar en el laboratorio, etc²⁶.

3.3. Desarrollo del método. Valoración de variables.

3.3.1. Definición del índice de peligrosidad en el manejo de agentes químicos (IPMAQ).

Conocer el peligro es presupuesto básico de toda evaluación de riesgos. Se realiza estudiando las condiciones de trabajo.

En un intento de optimizar medios, tanto humanos como materiales, surge la idea de definir un índice que agrupe los diferentes factores que intervienen en la exposición a una sustancia química en un laboratorio de manera global. Este índice, al cual hemos denominado *Índice de Peligrosidad en el Manejo de Agentes Químicos* (en adelante **IPMAQ**) se propone pues con el claro objetivo de minimizar los costes de evaluación, priorizando las actuaciones a desarrollar y dando una primera aproximación a la peligrosidad de la exposición al agente químico en cuestión.

El IPMAQ está relacionado, entre otros factores, con la peligrosidad de cada sustancia en concreto y la capacidad de pasar a la atmósfera, de tal manera que, el IPMAQ nos va a indicar para un laboratorio en particular, el grado de peligrosidad que implica su manejo en esas condiciones. Tiene en cuenta factores como la cantidad manipulada de la sustancia peligrosa, las condiciones de ventilación del laboratorio y si dispone de vitrinas de extracción de gases o no. Asimismo, tiene también en cuenta las condiciones del almacenamiento y el grado de protección respiratoria y protección dérmica del trabajador o trabajadores, entre otros.

²⁶ Todas estas normas han sido publicadas y editadas en trípticos informativos, carteles y pósteres y en otros soportes para su posterior difusión y dirigidos a estudiantes, PAS y PDI de la UGR y distribuidos a todos los laboratorios por el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UGR.

No pretende calcular ni estimar la exposición a un determinado contaminante químico. Se trata de una herramienta que permita tener un criterio objetivo para priorizar la planificación preventiva en los laboratorios. Esto va a permitir minimizar costes de muestreo ambiental, reduciendo el tiempo de dedicación del técnico de prevención encargado de la evaluación, y los medios que a ello vaya a dedicar.

De la misma manera, y teniendo en cuenta que para una empresa o en una institución que tenga varios laboratorios, como es el caso de una universidad, va a permitir, calculando el IPMAQ global de cada laboratorio como suma de los IPMAQ de las diferentes sustancias con que en él se trabaje, estimar de una manera objetiva y comparable, cuál de los laboratorios es el más peligroso con respecto a la exposición a agentes químicos. Ello permitiría establecer prioridades a la hora de abordar una evaluación más profunda con respecto a la exposición ambiental, o bien podría ser un factor a tener en cuenta a la hora de establecer dónde hacer mejoras o inversiones en materia de prevención de riesgos.

A partir de la definición de las variables que pueden afectar a la contaminación de un laboratorio y a la exposición del trabajador, formularemos en el presente apartado la metodología de diagnóstico y caracterización de la peligrosidad de un laboratorio. Con ellas se pretende evaluar cuantitativamente mediante índices los siguientes aspectos para cada laboratorio:

- Las características de las sustancias manejadas.
- El estado del laboratorio, desde el punto de vista de la seguridad y salud para Las personas que trabajan en él.
- Las características de la persona que trabaja con respecto a las tareas que desarrolla en el laboratorio.

Nos proponemos conocer cuál es el potencial de contaminación por exposición en el laboratorio a todas las sustancias químicas que hay en el mismo, de tal manera que mediante un índice se caracterice la peligrosidad del laboratorio.

En un laboratorio y para una sola sustancia “i” habrá que tener en cuenta las siguientes expresiones matemáticas:

- 1ª. La expresión matemática del Índice de Peligrosidad en el manejo de Agentes Químicos para un laboratorio es:

$$IPMAQ_i = I_{s_i} (IL + Ir)$$

donde:

$IPMAQ_i$ = Índice de peligrosidad en el manejo de la sustancia química “i”

(i) = Sustancia química “i”.

I_{s_i} = Índice de riesgo global de la sustancia “i”.

IL = Índice de peligrosidad del Laboratorio.

Ir = Índice de peligrosidad de la persona.

2ª. La expresión matemática del índice de peligrosidad del laboratorio es:

$$IL = I_a + I_{Lo} + kI_v + I_m + I_e$$

donde:

I_a = Índice debido al almacenamiento.

I_{Lo} = Índice debido a la extracción localizada

k = Factor debido al manejo de sustancias

I_v = Índice debido a la ventilación general

I_m = Índice debido al mantenimiento de instalaciones

I_e = Índice debido a los equipos

3ª. La expresión matemática del índice de peligrosidad de la persona es:

$$Ir = I_{pr} + I_d + I_o + I_f + I_h$$

donde:

I_{pr} = Índice debido a la protección respiratoria

I_d = Índice debido a la protección dérmica

I_o = Índice debido a la protección ocular

I_f = Índice debido a la formación

I_h = Índice debido a las prácticas de higiene personal

Para el conjunto de todas las sustancias manejadas en el laboratorio atenderemos a la expresión siguiente:

$$IPMAQ = \sum I_{s_i} (IL + Ir) (1)$$

donde:

$\sum I_{s_i}$ = Suma de los índices de riesgo globales de todas las sustancias manejadas

IL = Índice de peligrosidad que se refiere al “estado del laboratorio”.

Ir = Índice de peligrosidad asociado a la persona, que indica cómo interactúa dicha persona con una posible exposición.

3.3.2. Valoración y ponderación de variables.

A continuación se desarrolla el proceso de cálculo para cada uno de estos componentes de la expresión (1) teniendo en cuenta que, para cada variable relacionada, el potencial de contaminación de cada sustancia en el laboratorio dependerá *de la sustancia en sí*, del *estado del laboratorio en el momento de la visita* (disposición y uso de los sistemas de protección colectiva como la ventilación y/o extracción localizada, entre otros) y de los *mecanismos de protección de contaminación usados por la persona (incluida la formación y las prácticas higiénicas)*. Para cuantificar dicho potencial se parte, por un lado de la *peligrosidad de las sustancias manejadas, cantidad usada y volatilidad/pulverulencia*, de las, ya definidas, *variables de laboratorio* que participan en el riesgo de contaminación de cada uno de los elementos del medio y de las variables de interacción con la persona que tienen en cuenta los factores que evitan o limitan la exposición al contaminante.

Todas estas variables poseen una justificación de su consideración porque están íntimamente relacionadas con los procesos de exposición que tiene lugar en un laboratorio.

La importancia relativa de las variables anteriormente descritas que proponemos es arbitraria y sus valores se han establecido sobre la base de nuestra percepción de la peligrosidad y la toma de datos de las diferentes condiciones de trabajo en los laboratorios, habiéndonos basado para ello en la documentación estudiada, en todos los accidentes e incidentes estudiados y en la pericia de los años de experiencia en el campo de la Higiene Industrial²⁷. Y es que, en nuestra opinión, serán los estudios de exposición laboral y los accidentes que ocurran los que deban de ponderar adecuadamente cada uno de dichas variables que proponemos, acorde, también, con el

²⁷ Comencé a trabajar como técnico de higiene industrial en una Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades profesionales en 1993, siendo mi puesto de trabajo actual el de Técnico Superior de Higiene Industrial en la Universidad de Granada desde el año 2000 y Director del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UGR desde 2008.

grado de exposición obtenido en el análisis de muestras ambientales. Pretende, por tanto, ser una metodología viva e interactiva, que con el estudio detallado de las variables vaya retroalimentándose y mejorando.

En sí mismos, estos índices nos proporcionan información referente a unas determinadas condiciones de trabajo, siendo siempre un valor relativo que puede servir para comparar con otras condiciones de trabajo en otros laboratorios, teniendo en este campo su mayor grado de utilidad.

Tal y como explicamos con mayor extensión en el apartado correspondiente a las variables²⁸, su interpretación, dentro del concepto de Índice de contaminación debido al estado de cada variable, la realizaremos mediante una clasificación del estado de la variable (Ci) y una importancia o ponderación (Pi) de dicha variable. La clasificación de la variable dependerá de su estado o condición y la ponderación dependerá de la mayor o menor incidencia de dicha variable sobre alguno de los elementos primarios del laboratorio anteriormente definidos.

Así, el índice que valora cada variable “j” para cada contaminante “i” es:

$$I_i = C_j \times P_j$$

donde:

C_j = Clasificación de la variable j.

P_j = Ponderación de la variable j.

I_i = Índice Potencial de contaminación del contaminante “i” debido al estado la variable “j”.

j = Variable considerada para evaluar el potencial de contaminación del contaminante i.

A continuación, justificaremos la clasificación y ponderación para cada una de las variables elegidas en la valoración del potencial de contaminación de cada contaminante del laboratorio.

Tengamos en cuenta que la ponderación de la variable tiene el valor 1 cuando la variable no está relacionada con ningún elemento estructural, ni afecta directamente al elemento del laboratorio evaluado; en este caso, la clasificación de la variable puede adquirir los valores descritos en la tabla 4.

²⁸ Desarrollado y definido en el apartado: 3.2. Definición de parámetros y medición de variables influyentes en la peligrosidad.

Tabla 4. Valor y clasificación de variables con ponderación unitaria.

PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	VALOR DE LA CLASIFICACIÓN
1	Muy alta	4
	Alta	3
	Media	2
	Baja	1
	Muy baja	0

Las variables que ponderan como 1 son:

- Almacenamiento
- Mantenimiento de equipos
- Protección dérmica
- Protección ocular
- Prácticas higiénicas

Si la variable está relacionada directamente con algún elemento primario ya definido la ponderación adquiere el valor de dos. En este caso la clasificación de la variable puede adquirir los siguientes valores expresados en la tabla 5:

Tabla 5. Valor y clasificación de variables con ponderación doble.

PONDERACIÓN	CLASIFICACIÓN	VALOR DE LA CLASIFICACIÓN
2	Muy alta	4
	Alta	3
	Media	2
	Baja	½
	Muy baja	0

Se observa que los valores dados para las clasificaciones de las variables, independientemente de la ponderación, son los mismos excepto para la clasificación de baja. En este caso cuando la ponderación es la unidad, la clasificación adquiere valor 1 y cuando la ponderación es de dos la clasificación adquiere el valor de ½. Esta última situación se produce por dos motivos: por un lado, si no se introduce el término de ½, si no el de 1, una clasificación de la variable que está directamente relacionada con la contaminación en el laboratorio de “baja” tendría un valor de 2 y coincidiría con la condición de “media” (que sería aceptable) de la

variable cuando ésta no está directamente relacionada con la contaminación del laboratorio (caso de ponderación 1), hecho que, bajo nuestro punto de vista no debe suceder. Por otro lado, si en vez de un valor de $\frac{1}{2}$ fuese la unidad, el producto de la ponderación (valor 2) por el valor de la clasificación (valor de la variable 1) adquiriría un valor de 2, que implicaría un aumento del valor de la variable considerada que no refleja la condición de mitigación que la variable posee por su condición de “baja”.

Las variables que ponderan con 2 son:

- Riesgo global de las sustancias manejadas.
- Extracción localizada
- Ventilación general
- Mantenimiento de instalaciones
- Protección respiratoria
- Formación

3.3.2.1. Variable relacionada con las sustancias manejadas.

Condición.

Las características que hemos tenido en cuenta para establecer la clasificación del riesgo de las sustancias son la peligrosidad intrínseca de cada sustancia, la capacidad de pasar al medio ambiente y la cantidad usada de la misma. Cada una de ellas tiene una clasificación y conjuntamente tenidas en cuenta tienen un índice asociado al cual hemos denominado como *Índice de riesgo potencial global de las sustancias manejadas (Is)*.

Sin duda alguna determinar el Índice de riesgo potencial de cada sustancia manejada en el laboratorio exige un nivel de profundidad en el análisis mucho mayor que en el caso de las otras variables. En este caso hemos de identificar las diferentes sustancias manejadas en todas las operaciones que se desarrollen en el laboratorio. Cada sustancia llevará asociado un índice de riesgo. La suma de todos los índices de riesgos determinados para cada una de ellas será el índice global de riesgo potencial de las sustancias manejadas en el laboratorio.

Para la obtención del índice de riesgo potencial de cada sustancia nos apoyaremos en el método establecido por el Organismo Control of Substances Hazardous to Health (COSHH)²⁹. En nuestro trabajo se ha realizado una adaptación del mismo para adecuarlo a las necesidades de nuestro estudio.

Aunque se trata de una metodología para determinar la medida de control adecuada a la operación que se está evaluando, y no propiamente para determinar el nivel de riesgo existente debido al uso de sustancias químicas en el laboratorio, es especialmente válido para caracterizar el potencial contaminante de cada operación donde se manipule una sustancia química³⁰.

Como anteriormente describimos, para establecer la condición de riesgo para cada sustancia manejada tendremos en cuenta las siguientes características para obtener el Índice de riesgo potencial de cada sustancia:

- Peligrosidad de la sustancia (según frases “H”, anteriormente denominadas “R”).
- Capacidad o tendencia de que la sustancia pase al medio ambiente.
- Cantidad de sustancia usada en cada operación

Grado de peligrosidad según frases “H”.

La peligrosidad intrínseca de las sustancias (tabla 6), se clasifica en cinco categorías, A, B, C, D y E en función de las frases H que deben figurar en la etiqueta del producto y en su correspondiente ficha de datos de seguridad. Ante la existencia de frases “H” que conduzcan a distinto nivel de peligrosidad, se tomará el mayor de ellos.

Además, algunas sustancias pueden presentar riesgos por contacto con la piel o las mucosas externas donde igualmente volvemos a clasificar en cinco categorías (tabla 6) en función de las frases H. En la aplicación de esta tabla podemos identificar el riesgo por contacto dérmico.³¹

Hemos considerado conveniente, dado aún el gran número de envases que tienen etiquetado acorde con el RD 365/1995, el exponer el método con las frases “R” ya derogadas para los nuevos envases de sustancias y mezclas.

²⁹La metodología original (COSHH Essentials. Health and Safety Executive, 2003) puede consultarse en <http://www.coshh-essentials.org.uk>

³⁰ El método original puede ser igualmente consultado en la NTP 750 del INSHT.

³¹ El proyecto europeo "Riskofderm" está desarrollando una herramienta para la evaluación y gestión del riesgo por exposición dérmica. Puede consultarse información en Ann. occup. Hyg., Vol. 47, No. 8, ed. 2003, pp. 629-640, 2003.

Tabla 6. Clasificación de peligrosidad de sustancias químicas peligrosas por inhalación según sus frases de riesgo “R” ^{(*)32}.

GRADO DE PELIGROSIDAD	FRASES DE RIESGO
A	R36, R36/38, R38, R65, R67 Cualquier sustancia cuyas frases R no están contenidas en los grupos B a E.
B	R20, R20/21, R20/21/22, R20/22, R21, R21/22, R22.
C	R23, R23/24, R23/24/25, R23/25, R24, R24/25, R25, R34, R35, R36/37, R36/37/38, R37, R37/38, R41, R43, R48/20, R48/20/21, R48/20/21/22, R48/20/22, R48/21, R48/21/22, R48/22.
D	R26, R26/27, R26/27/28, R26/28, R27, R27/28, R28, Carc. Cat 3 R40, R48/23, R48/23/24, R48/23/24/25, R48/23/25, R48/24, R48/24/25, R48/25, R60, R61, R62, R63, R64.
E	Mut. Cat. 3 R40, R42, R42/43, R45, R46, R49, Mut. Cat. 3 R68

(*) El grado de peligrosidad aumenta de A hasta E

Con la publicación del Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, donde se hace referencia a otra nomenclatura diferente a las frases “R” a la hora de identificar riesgos en las sustancias y mezclas, la tabla 6 se transformaría en la tabla 7.

³²Tabla extraída de la NPT 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. INSHT

Tabla 7. Grado de peligrosidad de sustancias químicas peligrosas por inhalación según sus frases de riesgo “H” (*) Reglamento (CE) nº 1272/2008 y las ya derogadas frases “R”.

GRADO DE PELIGROSIDAD	FRASES DE RIESGO
A	R36, R36/38, R38, R65, R67 Cualquier sustancia cuyas frases “R” no están contenidas en los grupos B a E.
A (actual)	H304, H315, H319, H336
B	R20, R20/21, R20/21/22, R20/22, R21, R21/22, R22.
B (actual)	H332, H312, H302,
C	R23, R23/24, R23/24/25, R23/25, R24, R24/25, R25, R34, R35, R36/37, R36/37/38, R37, R37/38, R41, R43, R48/20, R48/20/21, R48/20/21/22, R48/20/22, R48/21, R48/21/22, R48/22.
C (actual)	H331, H330, H311, H301, H314, H319, H335, H315, H318, H373, H372
D	R26, R26/27, R26/27/28, R26/28, R27, R27/28, R28, Carc. Cat 3 R40, R48/23, R48/23/24, R48/23/24/25, R48/23/25, R48/24, R48/24/25, R48/25, R60, R61, R62, R63, R64.
D (actual)	H330, H310, H300, H351, H372, H360F, H360D, H361f, H361d, H360FD, H361fd, H360Fd, H360Df,
E	Mut. Cat. 3 R40, R42, R42/43, R45, R46, R49, Mut. Cat. 3 R68
E (actual)	H351, H334, H317, H350, H340, H350i, H371

Tabla 8. Grado de la peligrosidad de las sustancias químicas peligrosas en contacto con la piel o los ojos (*) según sus frases “R”³³.

GRADO DE PELIGROSIDAD	FRASES DE RIESGO
A	Cualquier sustancia cuyas frases “R” no están contenidas en los grupos B a E.
B	R21 R20/21 R20/21/22 R21/22 R24 R23/24 R23/24/25 R24/25
C	R27 R27/28 R26/27/28 R26/27 R34, R35 R36, R36/37 R36/38 R36/37/38
D	R38 R37/38 R41, R43 R42/43 R48/21 R48/20/21 R48/20/21/22 R48/21/22
E	R48/24 R48/23/24 R48/23/24/25 R48/24/25 R66

(*) Aunque no se establecen explícitamente niveles de peligrosidad, puesto que no se prosigue con la evaluación, las cuatro columnas corresponden a peligrosidad creciente desde la A a la E.

³³ Tabla extraída de la NPT 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. INSHT

La tabla 8, adaptada al Decreto 717/2010, de 28 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas y el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, se transformaría en la tabla 9:

Tabla 9. Grado de la peligrosidad de las sustancias químicas peligrosas en contacto con la piel o los ojos (*) según sus frases “H” del Reglamento (CE) nº 1272/2008 y las ya derogadas frases “R”.

GRADO DE PELIGROSIDAD	FRASES DE RIESGO
A	Cualquier sustancia que disponga de R no contemplada en apartados siguientes
A (actual)	Cualquier sustancia que disponga de H no contemplada en apartados siguientes
B	R21, R20/21, R20/21/22, R21/22, R24, R23/24, R23/24/25, R24/25
B (actual)	H332, H312, H302, H311, H301
C	R27, R27/28, R26/27/28, R26/27, R34, R35, R36, R36/37, R36/38, R36/37/38
C (actual)	H310, H300, H314, H319, H335
D	R38, R37/38, R41, R43, R42/43, R48/21, R48/20/21, R48/20/21/22, R48/21/22
D (actual)	H315, H318, H317, H334, H373
E	R48/24, R48/23/24, R48/23/24/25, R48/24/25, R66
E (actual)	H372

Tendencia a pasar al ambiente.

La tendencia a pasar al ambiente se clasifica en alta, media y baja y se mide, en el caso de líquidos, por su volatilidad y la temperatura de trabajo (figura 2), que definen la capacidad de evaporación del agente, y en el de sólidos, por su tendencia a formar polvo (tabla 10). Naturalmente, en el caso de agentes en estado gaseoso, se asignará siempre una volatilidad alta.

Imagen n° 6. Niveles de volatilidad de los líquidos³⁴.

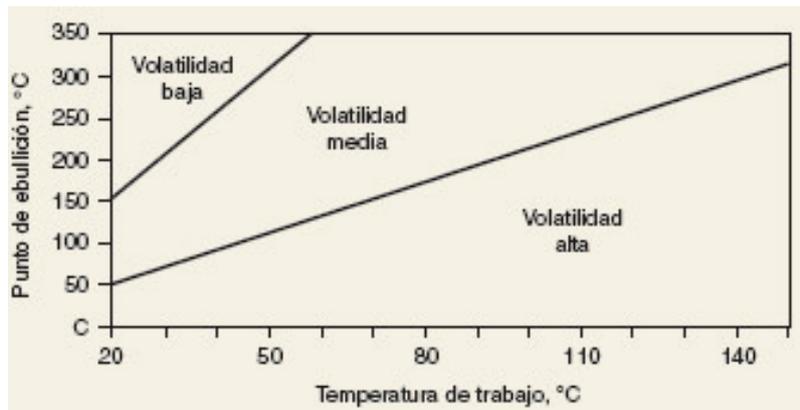


Tabla 10. Tendencia de los sólidos a formar polvo ^{(*)35}.

Baja	Media	Alta
Sustancias en forma de granza (pellets) que no tienen tendencia a romperse. No se aprecia polvo durante su manipulación. Ejemplos: granza de PVC, escamas, pepitas, etc.	Sólidos granulares o cristalinos. Se produce polvo durante su manipulación, que se deposita rápidamente, pudiéndose observar sobre las superficies adyacentes. Ejemplo: polvo de detergente	Polvos finos y de baja densidad. Al usarlos se observan nubes de polvo que permanecen en suspensión varios minutos. Ejemplos: cemento, negro de humo, yeso, etc.

(*) En caso de duda, elegimos la categoría superior.

Cantidad diaria de sustancia utilizada.

La cantidad de sustancia empleada se clasifica cualitativamente en pequeña, mediana o grande según lo indicado en la tabla 11.

Para el cálculo de la cantidad empleada diaria se atenderemos, preferentemente, a los datos facilitados en la entrevista personalizada realizada. En ciertas ocasiones, especialmente ante el desconocimiento de las personas entrevistadas del dato en cuestión o en el caso de dudas razonables respecto del mismo, se realizará, para su obtención, un cómputo anual de la cantidad de sustancia química empleada y dividiendo dicha cifra por 240 días laborables/año.

³⁴ Imagen extraída de la NPT 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. INSHT

³⁵ Tabla extraída de la NPT 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. INSHT

Tabla 11. Cantidad de sustancia utilizada al día (en orden de magnitud).

Cantidad de sustancia	Cantidad empleada diaria
Pequeña	Gramos o mililitros
Mediana	Kilogramos o litros
Grande	Toneladas o metros cúbicos

Una vez se ha recogido la información sobre las tres características descritas (grado de peligrosidad, la tendencia a pasar al ambiente y la cantidad de sustancia empleada), la tabla 12 indica los niveles de riesgo potencial para cada sustancia. Se han considerado cuatro niveles, 1, 2, 3 y 4, a cada uno de los cuales corresponderá una condición de la variable relacionada con la sustancia manejada.

Una vez establecidos estos cuatro niveles de riesgo: 1, 2, 3 y 4, para todas y cada una de las sustancias manejadas en el laboratorio, a cada sustancia del nivel 1 le hemos asignado la clasificación de la condición de Índice de riesgo bajo, al nivel de riesgo 2, el índice de riesgo medio, al nivel 3 corresponde a Índice de riesgo alto y al nivel 4 el índice de riesgo muy alto.

Ponderación.

Al estar directamente relacionadas las variables de peligrosidad, cantidad usada y pulverulencia /volatilidad con el elemento primario de concentración, la ponderación del índice es la máxima, es decir, 2.

Tabla 12. Clasificación de los niveles de riesgo de cada sustancia según su grado de peligrosidad, cantidad usada y volatilidad/pulverulencia.³⁶

GRADO DE PELIGROSIDAD	VOLATILIDAD / PULVERULENCIA				
	Cantidad usada	Baja Volatilidad o Pulverulencia	Media Volatilidad	Media Pulverulencia	Alta Volatilidad o Pulverulencia
A	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	1	1	2
	Grande	1	1	2	2
B	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	2	2	2
	Grande	1	2	3	3
C	Pequeña	1	2	1	2
	Mediana	2	3	3	3
	Grande	2	4	4	4
D	Pequeña	2	3	2	3
	Mediana	3	4	4	4
	Grande	3	4	4	4
E	En todas las situaciones con sustancias de este grado de peligrosidad, se considerará que el nivel de riesgo es 4.				

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla 13 se indican los valores que el índice adoptaría:

³⁶Tabla extraída de la NPT 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. INSHT

Tabla 13. Valores que adopta el Índice de riesgo potencial de cada sustancia.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Índice de riesgo de cada sustancia	Bajo	2	½	1
	Medio		2	4
	Alto		3	6
	Muy alto		4	8

3.3.2.2. Variables relacionadas con el medio (laboratorio).

Índice de peligrosidad del Laboratorio (IL).

Este índice engloba a todas las variables que pueden influir en la contaminación del laboratorio y que están asociadas a él.

Así:

$$IL = Ia + kIv + Im + Ie$$

donde:

Ia= Índice debido al almacenamiento.

IL = Índice debido a la extracción localizada

k= Factor debido al manejo de las sustancias

Iv= Índice debido a la ventilación general

Im= Índice debido al mantenimiento de instalaciones

Ie= Índice debido a los equipos

Índice de almacenamiento (Ia).

Condición.

Para considerar un laboratorio “sin almacén” es necesario que todos los productos químicos se hallen dispersos por las diferentes dependencias del mismo sin que exista una dependencia expresamente diseñada para tal fin. Tampoco hay armarios de seguridad para almacenar los productos tóxicos y muy tóxicos³⁷.

³⁷ Véase la definición de sustancias químicas tóxicas y muy tóxicas en el anexo IV de esta tesis.

Se considerará limitado/deficiente si no se dispone de almacén específico de productos químicos, pero al menos se dispone de armarios de seguridad para almacenar los de productos tóxicos y los inflamables.

Se considerará satisfactorio si se dispone de almacén de seguridad, armarios de seguridad para productos tóxicos e inflamables, separándolos del resto de productos y se adoptan criterios de almacenamiento de compatibilidad química.

Los criterios de compatibilidad de almacenamiento de sustancias químicas se basan en separar a los diferentes productos según sus propiedades químico-físicas³⁸.

Con la nueva clasificación de sustancias peligrosas el símbolo: , tiene la misma limitación con respecto a la incompatibilidad que el símbolo de sustancias tóxicas (calavera). La cruz de San Andrés, actualmente derogada como símbolo, se sustituye, a efectos de incompatibilidad de almacenamiento, por el símbolo:  (Ver imagen 7).

Ponderación.

En el caso de probabilidad de contaminación del laboratorio la variable almacenamiento posee una ponderación mínima por no afectar directamente a la contaminación del laboratorio. El índice se justifica debido a que un almacén inadecuado, se hace mucho más probable un derrame accidental o escapes peligrosos de sustancias químicas que haría aumentar el grado de exposición de la persona.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla 14 se indican los valores que el índice adoptaría:

³⁸En tal sentido véase la NTP 456 sobre almacenamiento de productos químicos en laboratorios. Criterios de compatibilidad, resumidos en la tabla 15 de esta tesis.

Imagen 7. Cuadro resumen de incompatibilidades de almacenamiento de sustancias peligrosas.

							
	+	-	-	-	-	+	-
	-	+	-	-	-	-	-
	-	-	+	-	-	+	+
	-	-	-	+	-	-	-
	-	-	-	-	+	O	-
	+	-	+	-	O	+	+
	-	-	+	-	-	+	+

Significado de los símbolos de la tabla:

Símbolo “+”: Se pueden almacenar conjuntamente

Símbolo “O”: Solamente podrán almacenarse juntas, si se adoptan ciertas medidas específicas de prevención

Símbolo “-“: No deben almacenarse juntas

Tabla 14. Valores que adopta el Índice de almacenamiento.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Almacenamiento	Sin almacén	1	3 Alta	3
	Con almacén <ul style="list-style-type: none"> • Limitado /deficiente 		2 Media	2
	<ul style="list-style-type: none"> • Satisfactorio 		1 Baja	1

Índice de extracción localizada (Ilo).

El índice se justifica debido a que al trabajar en las mesas con productos químicos, sin ningún sistema de extracción localizada, la probabilidad de difusión del contaminante es mayor, aumentando por tanto la probabilidad de afección a la salud de los trabajadores y por tanto la peligrosidad del laboratorio.

Las vitrinas de gases son los sistemas de extracción localizada más utilizados en los laboratorios.

Condición.

Se considerará que la extracción localizada es suficiente cuando hay al menos una vitrina de gases por cada tres trabajadores que de manera simultánea puedan permanecer en el laboratorio trabajando.

Se considerará que la variable sobre la extracción localizada posee características de limitadas cuando hay una vitrina de gases por cada cinco trabajadores que puedan estar simultáneamente trabajando en el laboratorio. Se considerará insuficiente cuando haya una por cada diez trabajadores.

Una vez identificadas las características como “suficientes”, “limitadas” o “insuficientes” es necesario indicar si su funcionamiento es satisfactorio o deficiente. Se entiende por un funcionamiento satisfactorio cuando la velocidad de aire media en la cara abierta de la campana es de 0,3 m/s o superior por cada metro cuadrado de apertura medido en la cara abierta de la vitrina. Se entenderá que es deficiente cuando dicha velocidad es inferior a 0,3 m/s.³⁹

³⁹ Este criterio establecido se entiende como un indicador de control de la calidad de funcionamiento de la vitrina. Ha sido establecido en base a la velocidad de captura necesaria para procesos de evaporación de sustancias en ambientes con escasa o nula velocidad de aire establecidos entre 0,254 y 0,508 m/s. Fuente: Industrial Ventilation. Cap. 3-6: Local Exhaust Hood y cap. 10-42

Imagen nº 8. Valores de diseño establecidos para la velocidad de captura de partículas de sustancias químicas en aire en sistemas de extracción localizada.

TABLE 3-1. Range of Capture Velocities^{9,12}

Condition of Dispersion of Contaminant	Example	Capture Velocity, fpm
Released with practically no velocity into quiet air.	Evaporation from tanks; degreasing, etc.	50-100
Released at low velocity into moderately still air.	Spray booths; intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100-200
Active generation into zone of rapid air motion.	Spray painting in shallow booths; barrel filling; conveyor loading; crushers	200-500
Released at high initial velocity into zone at very rapid air motion.	Grinding; abrasive blasting; tumbling	500-2000

In each category above, a range of capture velocity is shown. The proper choice of values depends on several factors:

<i>Lower End of Range</i>	<i>Upper End of Range</i>
1. Room air currents minimal or favorable to capture.	1. Disturbing room air currents.
2. Contaminants of low toxicity or of nuisance value only.	2. Contaminants of high toxicity.
3. Intermittent, low production.	3. High production, heavy use.
4. Large hood-large air mass in motion.	4. Small hood-local control only.

Fuente: Industrial Ventilation. 25 Edición. ACGIH. 2004.

Ponderación.

En el caso de la probabilidad de contaminación del laboratorio la variable referente a la extracción localizada posee ponderación máxima y de valor 2 por afectar directamente al elemento primario del laboratorio referente a la concentración ambiental de los agentes químicos.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Typical Laboratory Hood, VS-35-01, 02 y 03. 25 Edición. ACGIH. 2004. Se puede obtener igualmente más información en las Normas UNE-EN 14175:2005 Vitrinas de gases, partes 2,3 y 4, en la NTP 677: Seguridad en el laboratorio. Vitrinas de gases de laboratorio: utilización y mantenimiento y en la NTP 646: Seguridad en el laboratorio. Selección y ubicación de vitrinas.

Tabla 15. Valores que adopta el Índice de extracción localizada.

Índice	Condición			Ponderación	Clasificación	Valor	
	Existencia	Características	Estado				
Extracción localizada	Existe	Suficientes	Satisfactorias	2	0 Nula	0	
			Deficientes		½ Baja	1	
		Limitadas	Satisfactorias		½ Baja	1	
			Deficientes		2 Media	4	
		Insuficientes	Satisfactorias		2 Media	4	
			Deficientes		3 Alta	6	
	No existe					3 Alta	6

Índice del tipo de ventilación que dispone el laboratorio (Iv).

Condición.

Se entiende que la variable de ventilación del laboratorio es forzada y natural cuando posee un sistema de ventilación forzado que tenga capacidad de renovar el aire⁴⁰ del laboratorio y además tiene posibilidades de apertura de ventanas del mismo. Entenderemos que no existe forzada cuando no exista tal sistema de ventilación. En ocasiones las vitrinas de extracción de gases disponibles pueden actuar como parte del sistema de ventilación general del laboratorio.

Se entenderá que las características del sistema de ventilación forzada y natural son suficientes cuando el sistema de ventilación forzada puede renovar seis veces por hora o más el aire del interior del laboratorio⁴¹.

Se entenderá que el sistema de ventilación forzada y natural del laboratorio es limitado cuando la capacidad de renovación del mismo es de entre tres a seis veces por hora.

Se entenderá como deficiente cuando la capacidad de renovación sea inferior a tres renovaciones totales por hora.

⁴⁰Véase la renovación de aire. Criterios mínimos referenciados en el RD 486/1997 y en el Manual de Higiene Industrial. Editorial Mapfre, capítulo 7, Pags. 313-319 "Control de contaminantes químicos".

⁴¹Acorde con los criterios mínimo de renovación de aire establecido en el manual anteriormente mencionado.

Se entenderá como renovación satisfactoria cuando las entradas y salidas de aire están repartidas de tal manera que procuran una renovación efectiva del aire no dejando bolsas de aire “muerto” si renovar. Entenderemos que la renovación es deficiente cuando tales difusores y rendijas de aire no permitan esa renovación efectiva de aire.

Para entender mejor se detallan a continuación las diferentes disposiciones que se pueden adoptar y su calificación.

Entenderemos que existe ventilación natural cuando es posible la apertura de ventanas que dan al exterior.

Se entiende por último que no existe ventilación natural si no existen ventanas que den al exterior del laboratorio.

Ponderación.

La ponderación máxima de dos de la variable se justifica debido a que en un laboratorio donde existan carencias de ventilación, la probabilidad de que existan atmósferas contaminadas es mayor debido a la escasa o nula renovación del aire de su interior, afectando por tanto al elemento estructural de concentración de contaminantes químicos en el interior del laboratorio.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 16. Valores que adopta el Índice de ventilación.

Índice	Condición				Ponderación	Clasificación	Valor
Ventilación	Existe forzada y natural	Características	Suficientes	Satisfactorias	2	0 Nula	0
				Deficientes		½ Baja	1
			Limitadas	Satisfactorias		½ Baja	1
				Deficientes		2 Media	4
			Insuficientes	Satisfactorias		2 Media	4
				Deficientes		3 Alta	6
	No existe forzada	Existe natural		3 Alta	6		
		No existe natural		4 Muy Alta	8		

La ventilación general del laboratorio en cuestión se presenta, en nuestro caso, como la variable más importante a tener en cuenta; De hecho, la existencia de ventilación forzada en laboratorios eficaz haría, prácticamente “desaparecer” concentraciones ambientales de cualquier agente químico conforme transcurre el tiempo. No obstante, los procesos de difusión de la contaminación acorde con la velocidad de generación de la contaminación y la capacidad de renovación del aire, aún estudiados ampliamente por la ingeniería, no son todo lo eficaces que debieran en determinados casos, como así se pone de manifiesto en las mediciones de concentración de agentes químicos en aire realizadas. Hemos de tener en cuenta, además, que las sustancias químicas detectadas en el ambiente son tóxicas y la ventilación por ventilación general, en estos casos, no está indicada desde el punto de vista preventivo. Esta falta de eficacia, se debe, en ciertas ocasiones, a la falta también de ventilación por extracción localizada, bien sea a través de campanas extractoras o de vitrinas de gases en los laboratorios y a que, en ciertos procesos, no es posible envolver lo suficientemente la fuente de emisión del contaminante para que éste no escape y se difunda al ambiente.

En nuestros laboratorios estudiados, este hecho se pone de especial relevancia en varios laboratorios. Entre ellos, uno es el de prácticas de disección de cadáveres, donde, a pesar de disponer de extracción localizada por cada mesa en donde se ubican los cadáveres, la imposibilidad de envolver totalmente el cuerpo, hace ineficaz el sistema de ventilación instalado.

Otro, en el taller de restauración pictórica, en donde los cuadros, de grandes dimensiones, son imposibles de introducir en el interior de una campana o vitrina de gases.

Factor de corrección “k” debido a la forma de trabajo.

Adicionalmente a lo anteriormente expuesto, referente a la falta de eficacia del sistema de ventilación (en ocasiones debido a la imposibilidad técnica de encerrar la fuente emisora de contaminación), la forma de trabajar con las sustancias químicas y la forma en que se aplica el producto o se trabaja con él, hace el que el contaminante se difunda en mayor grado por el ambiente de trabajo. Para tener en cuenta este hecho hemos creído necesario introducir un factor de corrección “k” que, multiplicado por éste índice de ventilación “Iv” definido haga aumentar la peligrosidad del laboratorio.

Recordemos que las concentraciones ambientales de agentes químicos en los laboratorios, siendo la vía respiratoria la principal de entrada en el organismo, ha de tener una, llamemos, “penalización” extra debido a la falta de eficacia de los sistemas de ventilación instalados y a la forma de trabajar con ellos.

Tengamos en cuenta que hay situaciones en donde la sustancia es aplicada rociándola o pulverizando la superficie a tratar. En estos casos, la dispersión del agente químico es manifiestamente mayor, traduciéndose por tanto, en una mayor concentración ambiental en el ambiente de trabajo. Esta especial aplicación de las sustancias, nuevamente ocurre en determinados casos en nuestros laboratorios, donde, por ejemplo, el formaldehído es rociado por grandes superficies, (en ciertos trabajos de limpieza) o bien en determinados tratamientos en tejidos biológicos con el objetivo de conservarlos en el tiempo. También ocurre en casos en donde la sustancia se aplica en grandes superficies (restauración de lienzos al óleo) y se produce, por tanto, una gran superficie que evapora producto químico.

Estas diferentes formas de aplicar y manipular un producto tienen su impacto sobre la peligrosidad del laboratorio y así lo hemos puesto de manifiesto.

Para cuantificar este factor de corrección lo haremos determinando las diferentes concentraciones de agentes químicos ambientales presentes en los laboratorios. Gracias a las mediciones realizadas, expuestas con detalle en el capítulo de contraste del IPMAQ y a la observación directa de la forma de aplicar y manipular las sustancias químicas, podremos cuantificar este factor de manipulación que hemos llamado “k”.

El factor varía según la manipulación de las sustancias y sus valores se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Valoración del factor K acorde con el criterio de manejo de sustancias y su forma de aplicación en cada laboratorio.

K	CRITERIO
100	Muy alto grado de dispersión superficial. Se rocía y pulveriza al ambiente gran cantidad de sustancias químicas. Existe gran superficie emitiendo agentes químicos al aire. La ventilación y la extracción localizada son evidentemente deficientes.
75	Alto grado dispersión superficial. Se esparcen por la superficie de trabajo y aplican superficialmente las sustancias químicas.
50	Media dispersión. Existen trasvases y preparación de disoluciones fuera de las vitrinas de gases de manera habitual.
25	Baja dispersión. Existen trasvases y preparación de disoluciones dentro de las vitrinas de gases.
4	Muy baja dispersión. Las preparaciones de disoluciones y trasvases son muy esporádicas y se hacen en vitrina de gases.
0-1	1= No existe dispersión superficial. La ventilación general y la extracción localizada evitan la dispersión al ambiente de las sustancias químicas. 0= Los procesos de manipulación de sustancias químicas están muy automatizados. No existe manipulación de agentes químicos.

La variación del factor, de 0 a 100, se justifica en el capítulo de contraste del IPMAQ a través de las mediciones realizadas ya que, aplicando la ponderación apropiada a cada laboratorio hemos podido observar que el orden de la peligrosidad de los laboratorios atendiendo únicamente a las mediciones de las concentraciones ambientales y el orden de la peligrosidad aplicando el factor de ponderación correspondiente aplicando el IPMAQ (donde no se realizan mediciones ambientales de concentración) se mantiene y proporciona resultados coherentes a nuestra tesis formulada.

Índice de mantenimiento de instalaciones (Im).

Toda instalación y equipo de un laboratorio necesita un mantenimiento mínimo donde se incluyan las operaciones de limpieza y orden, que sin duda repercute en la seguridad del mismo.

Se consideran las siguientes instalaciones del laboratorio:

- Instalaciones generales de pavimento y mobiliario. Poyatas y superficies en general.
- Instalación de gases.
- Instalación eléctrica.
- Instalación de iluminación.
- Instalación de protección contra incendios.

Condición.

Se considera que la variable de mantenimiento de instalaciones es adecuada cuando todas las instalaciones han pasado su correspondiente revisión (cumpliendo los plazos reglamentarios de revisión un mantenedor autorizado), las instalaciones generales de pavimento no están deterioradas, las superficies de trabajo y mobiliario son resistentes a álcalis, ácidos y a disolventes y se encuentran limpias y ordenadas.

El nivel de iluminación ha de ser, como mínimo, de 500 lux medido en la superficie de trabajo.

A continuación se detalla cuándo una instalación ha de tener revisión obligatoria. Sólo en los casos de cumplimiento del programa de revisiones, la instalación será adecuada. Será no adecuada en los demás casos.

- *Instalación de gases:* (Cualquier fuga de los mismos (Oxígeno, acetileno, nitrógeno, amoníaco, dióxido de carbono, metano, etc., puede originar contaminación en el laboratorio). Periodicidad: anual.
- *Instalación eléctrica;* Periodicidad⁴² de la revisión: como norma general, cada cinco años. En caso de riesgo de existencia de atmósferas explosivas adquiere una especial relevancia el hecho de que la instalación sea la adecuada al nivel de riesgo. En este caso, la instalación será adecuada si:
 - La instalación y equipos eléctricos estarán protegidos frente al riesgo de incendio y explosión (Ex) de acuerdo con las exigencias contenidas en el Reglamento

⁴² Las inspecciones periódicas estarán a lo establecido en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por R.D. 842/2002 de 2 de agosto, ITC-BT- 5 y a la ORDEN de 17 de mayo de 2007, por la que se regula el Régimen de Inspecciones Periódicas de las instalaciones eléctricas de baja tensión.

Electrotécnico de Baja Tensión(REBT). Hay que prestar especial atención al uso de equipos móviles y a los accesorios que se utilizan o acoplan a los mismos.

- Hay implantado un control exhaustivo (con registros) de otros focos de ignición:
 - o térmicos (prohibiciones de fumar, operaciones con llama o chispas, carretillas de manutención y similares).
 - o Mecánicos (uso de herramientas “antichispa” en operaciones de apertura o cierre de recipientes, así como en ambientes en que puedan existir concentraciones o acumulaciones peligrosas de productos inflamables; uso de calzado sin partes metálicas y antiestático, etc.);
 - o Químicos (control del calor generado en reacciones exotérmicas, coexistencia de productos químicamente inestables o reactivos, etc.).
- *Instalación de protección contra incendios:* Tomando en consideración las medidas de lucha contra incendios a implantar encaminadas a evitar la propagación descontrolada del incendio y minimizar las consecuencias materiales o humanas derivadas del mismo cabe diferenciar entre medidas de protección pasiva (protección estructural de los elementos portantes para garantizar una determinada estabilidad al fuego, sectorización y compartimentación de áreas de distinto nivel de riesgo garantizando una determinada resistencia al fuego y utilización de materiales constructivos y de revestimiento de comportamiento ante el fuego conocidos) y medidas de lucha contra incendios propiamente dichas (detección humana o instalaciones de detección automática del incendio; medios ágiles y fiables de transmisión de la alarma; equipos de lucha contra incendios, sean portátiles o sean fijos, sean de accionamiento manual o de descarga automática y vías de evacuación suficientes en número, correctamente dimensionadas y adecuadamente distribuidas).

Este conjunto de medidas de lucha contra incendios se contempla en un conjunto amplio de disposiciones de nuestro marco legal⁴³, todas ellas de obligado cumplimiento. La

⁴³ Tengamos en cuenta que la legislación contra incendios es bastante prolija. Sin pretender ser exhaustivo se citan seguidamente las disposiciones legales que pueden, en algunos casos, ser exigibles en el ámbito de aplicación del **Real Decreto 374/2001**. La Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Orden de 9 de marzo de 1971). Es aplicable, con carácter general, a establecimientos industriales existentes a la entrada en vigor (30/1/2002) del **Real Decreto 786/2001** por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales y a actividades a las que, estando en el ámbito de aplicación de las NBE-CPI, no les sean aplicables las NBE-CPI- 82/91/96 por ser anteriores a la entrada en vigor de dichas normas. **Real Decreto 486/1997** por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud de los lugares de trabajo. (Los puntos 10 y 11 del **Anexo I** son aplicables con carácter general a todos los lugares de trabajo a partir del 23/7/1997 con excepción de los expresamente excluidos en el **artículo 1.2** del citado Real Decreto.) Normas Básicas de la Edificación / Condiciones de Protección contra Incendios (NBE / CPI de los años 82, 91 y 96). Aplicables a los edificios clasificados por ellas (uso hospitalario,

instalación se considerará adecuada cuando cumpla todos los condicionantes legales establecidos. Con respecto a la periodicidad de las revisiones nos atenderemos a lo establecido en dicha normativa.

El objetivo es, básicamente, garantizar y controlar la propagación vertical u horizontal de los efectos del incendio. Para ello las áreas de trabajo con riesgo de incendio estarán separadas del resto de dependencias constituyendo sector de incendios de resistencia al fuego (RF) adecuada a la carga térmica existente. La sectorización se realizará por distanciamiento o mediante compartimentación con muros y tabiques cortafuegos. Además deberemos observar que:

- Se garantice una detección eficaz sea humana o automática y unas instalaciones que aseguren una rápida y fiable transmisión de la alarma.
- Disponga de instalaciones adecuadas y suficientes de lucha contra incendios, sean fijas o portátiles, de accionamiento manual o descarga automática.
- El número y estado de las vías de evacuación permitirán la evacuación rápida y segura de los ocupantes.
- Garantice la eliminación de los humos generados por el incendio mediante exutorios u otros medios de extracción.

administrativo, docente, etc.) proyectados, construidos, reformados o cambiados de uso a partir de sus respectivos períodos de vigencia. **Real Decreto 1942/1993** por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. Desarrollado por **Orden de 16 de abril de 1998**. Aplicable a aparatos, equipos y sistemas empleados en la protección contra incendios instalados a partir del 14/3/1994. Aplicable asimismo al mantenimiento de los citados aparatos, equipos y sistemas ya instalados o proyectados con anterioridad a tal fecha. **Real Decreto 1254/1999** por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. Aplicable desde el 21 de julio de 1999 a los establecimientos en los que estén presentes sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a la especificadas en las **partes 1 y 2 del Anexo I**. Deroga los Reales Decretos 886/1998 y 952/1990 que constituían el marco normativo regulador de la prevención de accidentes mayores. **Real Decreto 379/2001** por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias **MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7** que regulan respectivamente los almacenamientos de: líquidos inflamables y combustibles, óxido de etileno, cloro, amoníaco anhidro, botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión, líquidos corrosivos y líquidos tóxicos. Aplicable desde el 10 de agosto de 2001 a instalaciones de nueva construcción así como a las ampliaciones o modificaciones de las existentes. Si bien deroga el Real Decreto 668/1980 sobre almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5 y MIE APQ-6, las revisiones e inspecciones periódicas de las instalaciones existentes se realizarán de acuerdo con las exigencias técnicas de la ITC según la cual fueron realizados. **Real Decreto 786/2001** por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. Aplicable a partir del 30 de enero de 2002 a los nuevos establecimientos industriales que se construyan o implanten y a los ya existentes que cambien o modifiquen su actividad, se trasladen, se amplíen o reformen en la parte afectada por la ampliación o reforma. Asimismo se aplicará a las industrias existentes antes de su entrada en vigor, cuando su nivel de riesgo intrínseco, situación o características impliquen un riesgo grave para las personas, los bienes o el entorno, y así se determine por la Administración Autonómica competente.

Este marco normativo de ámbito nacional, en algunos casos, se complementa o desarrolla con disposiciones promulgadas en el ámbito de las Administraciones Autonómicas o Locales.

Entre las medidas de protección a tomar para minimizar las consecuencias de las explosiones deben considerarse la existencia de:

- Ubicación preferente de equipos con potencial riesgo de explosión en el exterior de edificios y separados de otras dependencias.
- Contención de la presión de la explosión mediante la utilización de recipientes que resistan la presión generada sin rotura o recipientes resistentes al choque de presión sufriendo sólo ligeras deformaciones. Este sistema es práctico en el diseño de pequeños recipientes.
- Separación o aislamiento de zonas o equipos para reducir las consecuencias de una explosión y evitar su propagación. Esta medida es equivalente a la sectorización o compartimentación para incendios. En el caso de polvos combustibles se utilizan con este fin válvulas rotativas y transportadores de tornillo helicoidal.

Otros dispositivos son las válvulas de acción rápida o tajaderas, que actúan con una compuerta accionada por un gas a presión, cuya descarga es activada por un sensor o detector de la explosión ocurrida en las cercanías de la válvula. El sensor detecta la onda de presión antes de que llegue el frente de llama y da tiempo a que actúe la válvula y evite la propagación de la explosión.

Un tercer dispositivo dentro de este grupo serían los filtros apaga llamas ya que evitan el paso de la llama debido a la gran superficie metálica de retención que ofrecen, la cual provoca su enfriamiento y extinción antes de que pueda pasar al otro lado y provocar la propagación.

- Respiraderos o venteos de alivio de la explosión. Dispositivos calibrados de forma que abren o rompen a una presión determinada, llamada "presión estática de activación", permitiendo que la explosión sea liberada en una dirección no peligrosa y que la presión alcanzada en el recinto protegido sea inferior a la presión de diseño. Entre las soluciones prácticas se encuentran: discos y diafragmas de ruptura, placas de explosión, puertas de explosión con o sin mecanismo de autocierre, tapas sujetas a una cadena, paneles que saltan o paramentos débiles.
- Supresores de explosiones que se basan en una extinción muy rápida, sin dar tiempo a que tenga lugar la combustión completa. De esta forma la presión alcanzada en el equipo protegido es muy inferior a la presión de diseño del mismo y no sufre daños mecánicos.

Se entenderá como no adecuada cuando alguna de las instalaciones anteriormente citadas no disponga de los correspondientes certificados de adecuación a la normativa vigente realizados por un instalador/mantenedor autorizado por el organismo competente.

Ponderación.

En el caso de instalaciones no adecuadas existe la posibilidad de contaminación del laboratorio y por tanto aumentaría la exposición a agentes químicos. Por ello la variable referente a las instalaciones posee una ponderación máxima y de valor 2 por afectar directamente (caso de instalaciones de gases) al elemento primario de concentración de contaminantes químicos.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 18. Valores que adopta el Índice de mantenimiento de las instalaciones del laboratorio.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Mantenimiento de Instalaciones de laboratorio	Adecuada	2	0 Muy baja	0
	No adecuada		3 Alta	6
	No disponible		3 Alta	6

Índice de mantenimiento de equipos de trabajo (Ie).

En todo caso, los equipos de trabajo y los sistemas de protección empleados deberán cumplir los requisitos de seguridad y salud establecidos por la normativa que regule su concepción, fabricación y suministro.

Los equipos de trabajo deben adecuar sus prestaciones a los requerimientos de seguridad y salud específicos de los distintos ambientes de trabajo en que van a utilizarse (húmedo, corrosivo, etc.) o de los riesgos intrínsecos de las sustancias o preparados que van a contener, procesar o transformar (tóxicos, inflamables, etc.). Así, una máquina utilizada en un ambiente con riesgo de incendio o para procesar productos inflamables, en aplicación de los

requisitos esenciales de seguridad y salud exigidos por el Real Decreto 1435/1992 en el apartado 1.5.6 de su Anexo I, *"estará diseñada y fabricada para evitar cualquier peligro de incendio o de sobrecalentamiento provocado por la máquina en sí o por los gases, líquidos, polvos, vapores y demás sustancias producidas o utilizadas por la máquina"*.

Asimismo para el control de riesgo de explosión el citado Real Decreto exige en el apartado 1.5.7 de su Anexo I:

"La máquina deberá diseñarse y fabricarse a fin de evitar cualquier peligro de explosión provocada por la misma máquina o por los gases, líquidos, polvos, vapores y demás sustancias que produzca o utilice la máquina.

Para ello, el fabricante tomará las medidas oportunas para:

- *evitar concentraciones peligrosas de los productos;*
- *impedir la inflamación de la atmósfera explosiva;*
- *limitar las consecuencias de la explosión, si ésta llega a producirse, con el fin de que no tenga efectos peligrosos para su entorno.*

Se adoptarán idénticas precauciones cuando el fabricante prevea que la máquina pueda utilizarse en una atmósfera explosiva.

El material eléctrico que forme parte de dichas máquinas, en lo que se refiere a los peligros de explosión, deberá ser conforme a las disposiciones específicas vigentes."

Mención especial tienen aquí los cromatógrafos, espectrofotómetros y otros equipos específicos de laboratorio. Un inventario no exhaustivo se incluye a continuación:

Se consideran los siguientes equipos de trabajo⁴⁴:

- Equipos de medición de laboratorio (espectrofotómetros, cromatógrafos, balanzas de pesada, etc.)
- Instrumentos de medida (potenciómetros, electrodos específicos, etc.)
- Equipos calefactores, agitadores, hornos, muflas, esterilizadores, rotavapores, etc.

Los citados equipos si se han adquirido a partir de 1995, deben estar identificados con el marcado "CE" de conformidad, ir acompañados del correspondiente Manual de Instrucciones y

⁴⁴Equipo de trabajo: cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo. Definición de equipo extraída del REAL DECRETO 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

de la declaración "CE" de conformidad con los requisitos esenciales de seguridad y salud de acuerdo con lo establecido al respecto en el citado Real Decreto 1435/1992 así como en el Real Decreto 56/1995 que modifica al anterior.

Si los citados equipos no van identificados con el marcado "CE" ni acompañados del Manual de Instrucciones porque se adquirieron con anterioridad y estaban a fecha 27/8/97 a disposición de los trabajadores en la empresa, deben cumplir con los requisitos del Anexo I apartado 1 del Real Decreto 1215/1997. Véase al respecto la correspondiente Guía Técnica del INSHT en aplicación del RD 1215/1997).

En cualquiera de las dos situaciones anteriores, el mantenimiento de los citados equipos se realizará teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante o, en su defecto, las características de estos equipos, sus condiciones de utilización y cualquier otra circunstancia normal o excepcional que pueda influir en su deterioro o desajuste.

Para aparatos y sistemas de protección de uso exclusivo en atmósferas potencialmente explosivas, el Real Decreto 400/1996, que entró en vigor el 1 de marzo de 1996 y es plenamente aplicable a partir del 30 de junio de 2003, fija los requisitos exigibles para los citados equipos.

Si no es posible impedir o reducir la presencia en el lugar de trabajo de concentraciones peligrosas de sustancias inflamables o cantidades peligrosas de sustancias químicamente inestables, se debe asegurar que los distintos tipos de fuente de ignición procedentes de la instalación o de los equipos, y que puedan encontrarse habitual o esporádicamente en el ámbito de trabajo, no puedan desprender una cantidad de energía suficiente para iniciar el incendio, explosión u otras situaciones adversas.

Para ello, siempre que sea posible, se utilizarán equipos alimentados o accionados por energías que no generen calor (hidráulica, neumática, etc.). Cuando ello no sea posible, se deben usar equipos protegidos y procedimientos de trabajo que garanticen un control de los focos de ignición. Algunas consideraciones a contemplar para evitar o controlar posibles focos de ignición de distinta tipología consisten en, por ejemplo, durante las operaciones de carga, descarga o trasvase de sustancias químicas el que se realicen evitando la generación de cargas electrostáticas (control de velocidad de trasvase, llenado de recipientes mediante tubo sumergido, etc.) y facilitando su eliminación mediante conexión equipotencial y a tierra de todos los equipos y recipientes. También han de tenerse en consideración el diverso material de vidrio manejado y utillaje propio del laboratorio. De hecho es uno de los factores de riesgo que mayor accidentalidad proporciona en los laboratorios debido a los cortes que provocan (principalmente en las manos).

Condición.

Se considera que el estado de equipos es adecuado cuando se observen las siguientes condiciones:

- Cuando un equipo de trabajo lleve incorporados medidores de presión de los gases de servicio la instalación estará certificada por un mantenedor autorizado. Así por ejemplo los espectrofotómetros de absorción atómica necesitan de acetileno y oxígeno. Antes de llegar el gas al equipo se utilizan reductores de presión (manorreductores) que han de estar convenientemente montados).
- Ciertos equipos como por ejemplo los esterilizadores deben repasar las revisiones pertinentes que les afecta (prueba de presión)⁴⁵. Tal prueba en caso de haberse realizado debe de tener constancia por escrito del certificado pertinente.
- Todos los equipos han de tener su cableado de conexión a la red eléctrica en perfectas condiciones, sin empalmes ni roturas.
- Todo equipo debe estar certificado CE.
- El material de vidrio ha de conservarse sin grietas, sin roturas de bordes y con la señalización de volumen claramente visible.

Se considerará inadecuado cuando las condiciones anteriores no se cumplan.

Se considerará no disponible cuando las certificaciones de instalación de los equipos no estén disponibles.

Ponderación.

En el caso del potencial de contaminación referente a equipos de trabajo de laboratorio, estos poseen una ponderación mínima y de valor 1, ya que no está directamente relacionada con ninguno de los elementos estructurales definidos.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

⁴⁵ Acorde con el Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. Reglamento de aparatos a presión.

Tabla 19. Valores que adopta el Índice de mantenimiento de equipos de trabajo.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Mantenimiento de Equipos de trabajo	Adecuada	1	0 Muy baja	0
	No adecuada		3 Alta	3
	No disponible		3 Alta	3

3.3.2.4. Variables relacionadas con la persona.

Índice de protección respiratoria (Ipr).

Considera el aumento de la peligrosidad de la exposición por no hacer uso de la protección respiratoria adecuada.

El índice se justifica ya que un trabajador que use una adecuada protección respiratoria tiene menor posibilidad de ser afectado por una atmósfera contaminada.

Condición.

Se entiende que la protección respiratoria es adecuada cuando la mascarilla es certificada CE apropiada para el contaminante químico con el que se esté trabajando de manera específica, usando los filtros adecuados acorde con normas como la EN 149 y EN 144⁴⁶. Cuando la operación así lo requiera y con el objeto de proteger los ojos y la cara del trabajador se usará máscara facial en vez de mascarilla.

Cabe destacar que la clasificación es baja debido a que, aún siendo adecuado el protector respiratorio, siempre puede existir un mal ajuste o inadecuado mantenimiento por parte del operario que haga reducir la efectividad de la mascarilla.

⁴⁶ En el caso de mascarillas autofiltrantes, éstas pueden ser: para partículas, un filtro para gases y un filtro para gases y partículas.

Filtro de partículas. Hay de tres tipos: P1, P2 y P3. Donde P3 tiene mayor eficacia filtrante que P1.

Filtros para gases. Puede haber varias combinaciones según las necesidades. Las letras A, B son vapores orgánicos y gases, E es para Dióxido de azufre y otros gases y vapores ácidos, según especificaciones del fabricante, K es para Amoníaco y derivados orgánicos del amoníaco, pudiendo existir combinaciones entre ellos, (A1B1E1; AXB2; A1B1E1K1; A2B2E2K1) etc.

Filtro para partículas y gases. Por ejemplo: AXB2P3; B2P2; K1P3, etc.

Más información en: www.asepal.es

No sería adecuada en los demás casos. A continuación se expone un listado de mascarillas y filtros adecuados para cada contaminante.

Ponderación.

En este caso la ponderación de la variable protección respiratoria es 2, la máxima debido a que influye directamente en el elemento estructural de dosis absorbida de contaminante.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 20. Valores que adopta el Índice de protección respiratoria.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Protección respiratoria	Adecuada	2	½ Baja	1
	No adecuada		4 Muy Alta	8
	No disponible		4 Muy Alta	8

Índice de Protección dérmica (Id).

Considera el aumento de la peligrosidad de la exposición por no hacer uso de la protección dérmica adecuada.

El índice se justifica debido a que personas que usen protección dérmica adecuada impedirán que las sustancias químicas penetren a través de la piel durante su manejo.

Condición.

Se entenderá como adecuada cuando además del uso de bata de laboratorio de manga larga y completamente abrochada se use protección de las manos certificada CE para el riesgo químico acorde con las normas UNE EN 374 cat. 3.

Cabe destacar que la clasificación es baja debido a que, aún siendo adecuada la protección dérmica, siempre puede existir contacto accidental (por ejemplo por rotura o

punción del guante) que haga penetrar al producto químico y se permita por tanto el contacto con la piel del usuario. En este caso se reduce la efectividad de la protección.

Será de inadecuada cuando no se use bata de laboratorio y/o el guante no se ajuste a la citada norma.

Ponderación.

Hemos dispuesto una ponderación mínima de la variable debido a que la principal vía de entrada de los agentes químicos en nuestro caso es la respiratoria y no la dérmica.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 21. Valores que adopta el Índice de protección dérmica.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Protección dérmica	Adecuada	1	1 Baja	1
	No adecuada		4 Muy alta	4
	No disponible		4 Muy alta	4

Índice de Protección ocular (Io).

Considera el aumento de la peligrosidad de la exposición por no hacer uso de la protección ocular adecuada.

El índice se justifica debido a que personas que usen protección ocular adecuada impedirán que las sustancias químicas contacten con los ojos durante su manejo.

Condición.

Se entenderá como adecuada aquella protección ocular certificada CE para el riesgo químico acorde con las normas UNE 166:2001 con ajuste tipo cazoleta o integral. Se incluyen en este apartado también las pantallas faciales certificadas CE.

Cabe destacar que la clasificación es baja debido a que, aún siendo adecuada la protección ocular, siempre puede existir contacto accidental (por impregnación de la frente o por difusión a través de las rendijas de ventilación incorporadas en la parte inferior de las gafas) que haga penetrar al producto químico y se permita por tanto el contacto con los ojos del usuario. En este caso se reduce la efectividad de la protección.

Suficiente cuando las gafas sean certificadas contra impactos y proyección de baja, media o alta energía acorde con la norma CE EN 166:2001.

Será de inadecuada cuando la protección ocular no se ajuste a la citada norma.

Ponderación.

Hemos dispuesto una ponderación mínima de la variable (1) debido a que la principal vía de entrada de los agentes químicos en nuestro caso es la respiratoria y no la ocular. El daño ocular sería contemplado como un accidente de origen químico.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 22. Valores que adopta el Índice de protección ocular.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Protección ocular	Adecuada	1	1 Baja	1
	Suficiente		2 Media	2
	No adecuada		4 Muy alta	4
	No disponible		4 Muy alta	4

Índice de formación de la persona (If).

Esta variable pretende objetivizar cómo influye la existencia de formación de la persona en el trabajo relacionado con sustancias químicas. El grado de concienciación obtenido a través de la formación recibida a la hora del manejo de cierto tipo de sustancias (especialmente las más peligrosas) puede ser una variable importante a tener en cuenta.

Condición.

Adecuada sería aquella formación en cuyos contenidos se contemplen los riesgos relacionados con las sustancias químicas y además existe certificado que así lo acredita.

No adecuada sería toda formación donde el riesgo químico no esté contemplado. En este sentido, si no existe certificado de formación al respecto, equivale a formación no adecuada.

Destacamos que hemos clasificado como baja la condición de adecuada y no como muy baja, pues a través de la formación se pretende lograr la modificación de conductas “inseguras” por parte de los trabajadores aunque en ciertas ocasiones estas pautas de comportamiento no se alteran de manera significativa, por tanto no podría nunca adoptar el valor de “0”.

Ponderación.

La ponderación de la variable es de 2 debido a que una adecuada formación realmente puede hacer modificar⁴⁷ actitudes conductuales que hagan minimizar el riesgo en el manejo de las sustancias químicas.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 23. Valores que adopta el Índice de formación de la persona.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Formación en la peligrosidad de sustancias químicas	Adecuada	2	½ Baja	1
	No adecuada		4 Muy alta	8
	No certificable		4 Muy alta	8

⁴⁷ En la NTP 559: Sistema de gestión preventiva: procedimiento de control de la información y formación preventiva se cita textualmente que: “un objetivo esencial de las acciones informativas y formativas bien planificadas es lograr un cambio de actitudes favorable, para que tanto mandos como trabajadores se impliquen y asuman que la prevención de riesgos laborales es esencial para el logro de un trabajo bien hecho... La información y formación adecuadas harán que el trabajador sea consciente de los riesgos que corre en la ejecución de su trabajo, y conozca las medidas preventivas dispuestas, así como su correcta utilización y/o ejecución”

Índice de prácticas higiénicas (Ih).

Tendremos en cuenta factores como el lavado de cara y manos antes de salir del laboratorio, lavado de bata por la empresa sin llevarla al domicilio particular, no comer, beber y no fumar en el laboratorio.

Condición.

Se considerarán las prácticas higiénicas personales de la siguiente tabla con la clasificación establecida en ella:

Tabla 24. Clasificación de las prácticas higiénicas personales.

CLASIFICACIÓN PRÁCTICAS HIGIÉNICAS	PRÁCTICAS HIGIÉNICAS
ninguna	se come se bebe se fuma no se lavan manos no se lava cara no se lava bata especial
escasas	no se come no se bebe no se fuma no se lavan manos no se lava cara no se lava bata – sí se lava bata especial
medias	no se come no se bebe no se fuma sí se lava manos no se lavan cara sí se lava bata especial
altas-ade cuadas	no se come no se bebe no se fuma sí se lavan manos sí se lavan cara no se lava bata
muy altas	no se come no se bebe no se fuma sí se lavan manos sí se lavan cara sí lava bata especial

Recordamos que legalmente está prohibido fumar⁴⁸ en los laboratorios. Queremos expresar en este estudio que, además de prohibir comer, se ha de incluir la prohibición de

⁴⁸ Vid., sobre el particular, Ley 28/2005, art. 7.

incluso beber agua en el laboratorio por el riesgo que esta práctica conlleva ante la existencia de numerosas sustancias químicas.

Para el lavado de las manos y caras se deben disponer de jabones que no deterioren la piel de las personas.

El lavado de la bata debe ser realizado por una empresa especializada estando prohibido que el trabajador se le lleve al domicilio particular por el riesgo de contaminación que este hecho conlleva. Esta práctica, que es habitual en el sector sanitario, debería ser también habitual en los laboratorios, en especial cuando se manipulen sustancias cancerígenas, mutagénicas, teratogénicas o tóxicas para la reproducción.

De la misma manera sería recomendable que los trabajadores/as tuvieran a su disposición colirios especiales para el lavado de ojos, pues en ciertas ocasiones las atmósferas presentes en el lugar de trabajo son contaminantes y pudieran depositarse en la conjuntiva.

Ponderación.

Al no estar esta variable directamente relacionada con un elemento primario, pondera con la unidad.

Atendiendo a esta clasificación y ponderación en la tabla siguiente se indican los valores que el índice adoptaría:

Tabla 25. Valores que adopta el Índice de prácticas higiénicas.

Índice	Condición	Ponderación	Clasificación	Valor
Prácticas higiénicas	Ninguna	1	8 Muy baja	8
	Escasas		6 Baja	6
	Medias		4 Media	4
	Adecuadas		2 Alta	2
	Alta		2 Alta	2
	Muy alta		0 Muy alta	0

Todas las variables expresadas en las tablas anteriores poseen una justificación de su consideración que se encuentra íntimamente relacionada con los procesos de manejo de sustancias químicas que tienen lugar en el laboratorio.

En la tabla siguiente hemos querido sintetizar los diferentes valores que adoptan los índices estudiados según la fuente potencial de peligro.

Tabla 26. Valores asignados a los índices de peligrosidad.

FUENTE POTENCIAL DE PELIGROSIDAD	INDICE DE PELIGROSIDAD	VALORES	MAXIMO VALOR
FOCO (SUSTANCIA ⁴⁹)	Isi	1,4,6,8	8
MEDIO (LABORATORIO)	Ia	1,2,3	3
	Ilo	0,1,4,6	6
	k	0-100	100
	Iv	0-8	8
	Im	0,6	6
	Ie	0,3	3
PERSONA RECEPTORA (PERSONA)	Ipr	1,8	8
	Ipd	1,4	4
	Ipo	1,4	4
	Iph	0,1,4,6,8	8
	If	1,8	8

donde:

Is_i = Índice de riesgo global de la sustancia “i”.

Ia= Índice contaminante debido al almacenamiento.

Ilo = Índice debido a la extracción localizada

Iv= Índice debido a la ventilación general

k= Factor de ponderación debido a la forma de trabajo

Im= Índice debido al mantenimiento de instalaciones

Ie = Índice debido a los equipos

Ipr = Índice debido a la protección respiratoria

Ipd = Índice debido a la protección dérmica

⁴⁹ Este es el valor adoptado para cada una de las sustancias manejadas. En realidad el índice potencial de riesgo es el que se obtiene sumando todos los valores que adoptarían las diferentes sustancias manejadas.

Ipo = Índice debido a la protección ocular

Ih= Índice debido a las prácticas de higiene personal

If= Índice debido a la formación

Del análisis de las variables anteriormente expuestas se puede deducir que en un laboratorio existen tres causas internas al mismo que influyen en el riesgo:

- *Foco*: sustancias manejadas.
- *Medio*: comprendería a laboratorio y sus instalaciones (Almacén, ventilación por extracción localizada, ventilación general, forma en que se manejan las sustancias, instalaciones y equipos.)
- *Persona receptora*: medidas de protección individual como son la respiratoria, la dérmica y la ocular, prácticas de higiene personal y formación de la persona.

Tiempo de exposición (T).

Cuando en el laboratorio trabajen personas durante tiempos diferentes a 8 horas diarias el índice de peligrosidad en el manejo de agentes químicos del laboratorio se modificaría proporcionalmente con los tiempos de exposición. De esta manera, si el tiempo de exposición es diferente a 8 horas diarias el Índice corregido se calcularía mediante la siguiente expresión:

$$IPMAQ_T = IPMAQ_8 \times T/8$$

siendo:

T: el tiempo de exposición diario expresado en horas.

IPMAQ₈ = índice de peligrosidad en el manejo de agentes químicos del laboratorio calculado.

IPMAQ_T = índice de peligrosidad en el manejo de agentes químicos del laboratorio corregido para T horas/diarias.

CAPÍTULO 4

APLICACIÓN DEL MÉTODO A LABORATORIOS

4. APLICACIÓN DEL MÉTODO A LABORATORIOS.

4.1. Resultados de los laboratorios evaluados.

La metodología descrita en el Capítulo anterior se ha aplicado en la evaluación de la peligrosidad de laboratorios en los que se realizan experimentos muy diversos y en los que se manejan una amplia diversidad de sustancias químicas.

El criterio seguido para la selección ha sido los diferentes grados de utilización de sustancias químicas en los mismos, de lo que tuvimos conocimiento a partir de la información extraída de las evaluaciones de riesgos laborales archivadas en el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la Universidad de Granada. Al objeto de estudiar la aplicabilidad del método no hemos descartados aquellos laboratorios donde el uso de sustancias químicas era menor.

La metodología la hemos aplicado también en un taller de restauración pictórica, no propiamente un laboratorio, para valorar la flexibilidad de la aplicabilidad de la misma a lugares diferentes a un laboratorio donde también se manejen sustancias químicas. A continuación citamos todas las dependencias evaluadas.

Para aplicar la metodología propuesta hemos visitado los laboratorios y tomado nota de todas las variables descritas en ella. Las visitas las se concertaron previamente y comunicado por escrito a los responsables de los laboratorios para que, paralelamente, se les pudiera realizar la entrevista planeada descrita en el anexo II de esta Tesis.

Con los datos recogidos se realizó un análisis de las sustancias químicas comúnmente utilizadas en dichos laboratorios (una relación de las mismas se puede consultar en el anexo III).

Tabla 27. Laboratorios evaluados con la metodología.

LABORATORIO	ACTIVIDAD
1FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas
2FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico
3FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales
4FCQO	Investigación en química orgánica
5FCB	Investigación con Biomembranas
6FFQ	Investigación en Química Farmacéutica
7FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2
8FMAP	Laboratorio general
9FMAP	Laboratorio Inmunoestequímica y Biología Molecular
10FMAP	Laboratorio Tallaje
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos
18FMAP	Laboratorio de Citología.
19FMAP	Sala de Autopsias
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología
29FMBQ	Laboratorio de Renina
30FMBQ	Laboratoiro de radio inmunoensayo. Radioimmuneassay (R.I.A.)
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología
33FMBQ	Sección de Diabetes
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos
40FBBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante

Para cada sustancia se ha buscado en las bases de datos bibliográficas¹ las frases de riesgo que le son aplicables y la temperatura de ebullición de cada una de ellas. Paralelamente, con el dato de la cantidad usada de la misma, se ha aplicado la metodología para determinar, el I “Is” (Índice de riesgo de las sustancias) de cada una de ellas. El Índice de riesgo de todas las sustancias se determina sumando todos los “Is” cada una de las sustancias analizadas.

Por otro lado, basándonos en la visita a las instalaciones y en la apreciación técnica, hemos asignado valor a las diferentes variables relacionadas con el laboratorio (Índice de ventilación, Índice de almacenamiento; Índice de extracción localizada, Índice de equipos, Índice de mantenimiento de instalaciones) para la obtención del Índice del Laboratorio (IL) y a los índices relacionados con el receptor (Índice de protección respiratoria, Índice de protección dérmica, Índice de protección ocular, Índice de formación, Índice de prácticas higiénicas) para la obtención del Índice del Receptor (persona), asignado los valores descritos en el método para cada uno de ellos. Los aspectos más significativos relacionados con el control técnico y protección de la exposición existente en los diferentes laboratorios se relacionan, para cada uno de ellos, en este capítulo.

Inicialmente, para cuantificar adecuadamente el factor de ponderación “k”, relacionado con la forma de trabajar con las sustancias químicas, hemos aplicado la metodología dándole el mismo valor (1 en este caso) para todos los laboratorios. Posteriormente, la medición de las concentraciones ambientales obtenidas, plasmadas en el capítulo de contraste de la validez del IPMAQ, nos permitirá cuantificarlo con precisión.

Todos estos datos, plasmados en una única tabla por laboratorio e interrelacionados entre sí acorde con nuestra metodología, nos proporcionan, por un lado, el Índice de peligrosidad de las sustancias (“ Σ Is” global de las sustancias), el Índice de peligrosidad del Laboratorio (IL del laboratorio) y el Índice de peligrosidad asociado al receptor (Ir del receptor). El índice de Peligrosidad en el Manejo de Agentes Químicos del Laboratorio se obtiene por combinación de los anteriores. Ese es nuestro IPMAQ inicial del laboratorio, indicativo de la peligrosidad en el

¹ Véase en el capítulo 9 de bibliografía las bases de datos consultadas.

trabajo con sustancias químicas y único para cada laboratorio. El IPMAQ final se obtiene introduciendo en su cálculo el factor de ponderación “k” ya referido.

Para enriquecer el trabajo disponemos de la relación de personas que trabajan en los diferentes laboratorios analizados. Este dato no ha sido aportado para salvaguardar siempre la confidencialidad de los mismos acorde con la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal². También hemos analizado los focos de emisión de contaminantes químicos y se destacan, para cada laboratorio, los aspectos más relevantes a tener en cuenta en un apartado especial de observaciones. Estos datos serán de vital importancia para abordar las medidas preventivas a implantar en cada uno de los laboratorios analizados.

Adicionalmente, muestreamos las concentraciones ambientales de las diferentes sustancias químicas identificadas en aire en ocho de los cuarenta laboratorios estudiados. El estudio de concentraciones ambientales nos permitirá discutir sobre la correlación que existe con el índice de peligrosidad IPMAQ y las concentraciones ambientales medidas. Detalle de ello se expone en el capítulo 5 de nuestra tesis.

² Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

LABORATORIO 1FCQO

Actividad: Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- El laboratorio dispone de armarios de seguridad y frigoríficos para sustancias volátiles.
- Uso de guantes de látex de examen médico, no Certificados, para protección contra sustancias químicas acorde con la norma CE EN 374 cat. 3.
- No se usa protección respiratoria contra el riesgo de exposición ambiental a vapores orgánicos.
- El laboratorio no dispone de equipo para derrames de origen químico. Hay uno disponible para toda la planta.
- La salida de emergencia es defectuosa (no abre bien las puertas y están forzadas).
- De manera generalizada se detectan envases de productos químicos sin etiquetar o mal etiquetados³.

Índices: véase tablas 28 y 29.

Tabla 28. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
n-Hexano	C	A	M	4	8	56
Terbutilmetiléter	C	A	M	4	8	
Cloroformo	E	A	M	4	8	
Acetona	D	A	M	4	8	
Tetrahidrofurano	D	A	M	4	8	
Benceno	E	A	M	4	8	
Diclorometano	D	A	M	4	8	

³ Recordemos que todo envase que contenga sustancias químicas debe incorporar en su etiqueta, al menos, entre otras indicaciones, los pictogramas de riesgo correspondientes. Véase Reglamento CE nº 1270/2010.

Tabla 29. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	2	10	$56 \times (10+21) = 1736$
	Ilo	4		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	21	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	1		
	Iph	4		
Σ Is			56	

LABORATORIO 2FCQO

Actividad: Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- El laboratorio dispone de una estancia donde se almacenan los envases de disolventes más voluminosos (25 litros) y donde también se sitúan los armarios de seguridad. El sistema de ventilación es deficiente.
- No se usan las mascarillas apropiadas contra el riesgo por exposición a vapores orgánicos.
- Se usan guantes de nitrilo certificados contra riesgo químico acorde con la norma CE EN 374 cat. 3 y también de látex (no certificados por esta norma).

Índices: véase tablas 30 y 31.

Tabla 30.ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
Cloroformo	E	A	M	4	8	16
Acetato de etilo	D	A	M	4	8	

Tabla 31. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	2	10	16*(10+15)= 400
	Ilo	4		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	1		
	Iph	1		
ΣIs			16	

LABORATORIO 3FCQO

Actividad: Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- El laboratorio dispone de una estancia donde se almacenan los envases de 25 y 50 litros de disolventes orgánicos.

Equipos de protección Individual.

- No se usan las mascarillas apropiadas contra el riesgo por exposición a vapores orgánicos.

- Se usan guantes de nitrilo certificados contra riesgo químico acorde con la norma CE EN 374 cat. 3 y también de látex (no certificados por esta norma).

Índices: véase tablas 32 y 33.

Tabla 32. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
n-Hexano	C	A	M	4	8	26
Cloruro de metileno	C	A	M	4	8	
Acetato de etilo	A	M	M	1	2	
Acetona	D	A	M	4	8	

Tabla 33. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	2	10	26*(10+15)= 650
	Ilo	4		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	1		
	Iph	1		
Σ Is			26	

LABORATORIO 4FCQO

Actividad: Laboratorio de Investigación en química orgánica.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- El laboratorio cuenta con un frigorífico donde se almacenan los productos más volátiles.

Equipos de protección Individual.

- No se usan las mascarillas apropiadas contra el riesgo por exposición a vapores orgánicos.
- Se usan guantes de nitrilo certificados contra riesgo químico acorde con la norma CE EN 374 cat. 3 y también guantes de látex (no certificados por esta norma).

Índices: véase tablas 34 y 35.

Tabla 34. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
n-Hexano	C	A	M	4	8	24
Terbutilmetileter	C	A	M	4	8	
Acetona	D	A	M	4	8	

Tabla 35. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	11	24*(11+15)= 624
	Ilo	4		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	1		
	Iph	1		
ΣIs			24	

LABORATORIO 5FCB

Actividad: Investigación con Biomembranas.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- Las vitrinas de gases no están funcionando de manera permanente.
- El laboratorio no dispone de almacén ni armario de seguridad; los productos se distribuyen en las mesas de trabajo, en un armario y una estantería anexa.
- El almacenamiento de sustancias químicas que requieren refrigeración se realiza en dos frigoríficos no adecuados para ello.

Equipos de protección Individual.

- No se usan las mascarillas apropiadas contra el riesgo por exposición a vapores orgánicos.
- Se usan guantes de nitrilo certificados contra riesgo químico acorde con la norma CE EN 374 cat. 3 y también de látex (no certificados por esta norma).

Índices: véase tablas 36 y 37.

Tabla 36. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
n-Hexano	C	A	M	4	8	48
Etanol	C	A	M	4	8	
Acetona	D	A	M	4	8	
Ácido acético	C	M	M	3	6	
Metanol	C	A	M	3	6	
Éter	B	A	M	2	4	
Cloroformo	E	A	M	4	8	

Tabla 37. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	20	48*(20+21)= 1968
	Ilo	4		
	Iv	4		
	Im	6		
	Ie	3		
Ir	Ipr	8	21	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	4		
	Iph	1		
ΣIs			48	

LABORATORIO 6FFQ

Actividad: Investigación en Química Farmacéutica.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- La estancia dispone de una habitación donde se almacenan los envases de 25 litros de disolventes.
- Se dispone de una cámara frigorífica cuya temperatura interior es de 4° C, donde se conservan productos que requieren dicha temperatura; En su interior hay cuatro envases de 25 litros de éter.
- Las cinco vitrinas de gases están en permanente funcionamiento durante el manejo de sustancias químicas (excepto una, que está averiada), hay ventilación natural en la estancia, no existe ventilación forzada.

Equipos de protección Individual.

- Se disponen de mascarillas apropiadas contra la exposición a vapores orgánicos, pero no se usan; las que se usan habitualmente son las mascarillas contra partículas y aerosoles (CE-EN 149), FFPP2.
- Se usan guantes de nitrilo certificados contra riesgo químico acorde con la norma CE EN 374 cat. 3 y también de látex (no certificados por esta norma).

Índices: véase tablas 38 y 39.

Tabla 38. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
n-Hexano	C	A	M	4	8	84
Acetona	D	A	M	4	8	
Metanol	C	A	M	3	6	
Éter	B	A	M	2	4	
Cloroformo	E	A	M	4	8	
Acetato de etilo	A	M	M	1	2	
Cloruro de metileno	C	A	M	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
n-butanol	C	M	M	3	6	
Acetonitrilo	C	M	M	3	6	
N,N Dimetilformamida	D	M	M	4	8	
Dimetilsulfóxido	C	B	M	2	4	
Tetrahidrofurano	C	A	M	3	6	
Tetracloruro de carbono	D	M	M	4	8	

Tabla 39. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	6	84*(6+15)= 1764
	Ilo	1		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	1		
	Iph	1		
ΣIs			84	

LABORATORIO 7FFQ

Actividad: Investigación en Química Farmacéutica 2.

Control técnico.

- Instalaciones de ventilación.
- La estancia dispone de una habitación donde se almacenan los envases de 25 y 50 litros de disolventes orgánicos, que es compartida con el laboratorio de Química Farmacéutica 1.
- El personal no usa mascarillas contra la exposición a vapores orgánicos.
- Se usan guantes de látex no certificados contra riesgos químicos.
- Se dispone de equipo contra derrames de origen químico.
- El laboratorio cuenta con cuatro vitrinas de gases que no están en funcionamiento el día de la visita. No se hacen los transvases, las reacciones ni las destilaciones en el interior de las mismas.
- No se dispone de armarios de seguridad.

Índices: véase tablas 40 y 41.

Tabla 40. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Acetona	D	A	M	4	8	36
Cloruro de metileno	C	A	M	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
Éter Etilico	B	A	M	2	4	
n-Hexano	C	A	M	4	8	
Metanol	C	A	M	3	6	

Tabla 41. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	2	16	36*(16+28)= 1224
	Ilo	1		
	Iv	4		
	Im	6		
	Ie	3		
Ir	Ipr	8	28	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	4		
ΣIs			36	

LABORATORIO 8FMAP

Actividad: Laboratorio general.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo

Las funciones o tareas que se ejecutan en este laboratorio son las asociadas a las técnicas estológicas y estoquímicas.

Los equipos de trabajo con los que cuenta este laboratorio son los siguientes:

- 4 Microtomos (cortes de bloques)
- Teñidor (técnicas especiales)
- Teñidor automático (estanotoxilina dioxina)
- Montador (cubre portas)
- Criostato (microtobón en cabina a -20° C)

- Instalaciones de ventilación.
- La estancia cuenta con dos frigoríficos congeladores donde se almacenan los productos más volátiles y dos armarios de seguridad.
- El laboratorio cuenta con dos vitrinas de gases que permanecen siempre en funcionamiento y con un cuarto “oscuro” con dos microscopios donde se realizan las técnicas con fluorescencia.

Equipos de protección individual.

- El personal utiliza mascarillas certificadas contra partículas (Certificación CE EN 149 FFPP2) y guantes de nitrilo (Certificación CE EN 374 cat. 3). Esporádicamente se utilizan también los guantes de látex no certificados para riesgo químico.

Índices: véase tablas 42 y 43.

Tabla 42. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
Etanol	A	M	M	1	2	4
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 43. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	5	4*(5+22)= 108
	Ilo	0		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			4	

LABORATORIO 9FMAP

Actividad: Laboratorio Inmunoquímica y Biología Molecular.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Se utilizan técnicas de análisis inmunoquímicas (que implican el uso de más de 200 tipos de anticuerpos); análisis y estudios de muestras biológicas y tejidos en fresco; extracción de ADN y HPV (protocolos, linfoma B, T, HHV8, CCB2...).

- Instalaciones de ventilación.
- La estancia cuenta con un frigorífico congelador, un frigorífico refrigerador y una cámara frigorífica (todos ellos domésticos) donde se almacenan los productos más volátiles.
- El laboratorio dispone de una vitrina de gases que habitualmente está puesta en marcha aunque no siempre se trabaja dentro de ella.

Equipos de Protección Individual.

- El personal utiliza mascarillas de CE EN 149 FFPP2 y guantes de nitrilo CE EN 374, cat 3. Dependiendo de la disponibilidad, en ocasiones se utilizan también los de guantes de látex de examen médico.

Índices: véase tablas 44 y 45.

Tabla 44. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Acetona	D	A	M	4	8	64
Acetato de Metilo	A	A	M	2	4	
Acido Acético	C	M	M	3	6	
Bromuro de Etidio	E	A	B	4	8	
Cloroformo	E	A	M	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
Éter Etlíco	B	A	M	2	4	
Etilen Glicol	D	B	M	3	6	
Diaminobencidina	E	A	M	4	8	
Nitrógeno	A	A	M	2	4	
n-Propanol	A	A	M	2	4	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 45. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	5	64*(5+22)= 1728
	Ilo	0		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			64	

LABORATORIO 10FMAP

Actividad: Laboratorio Tallaje.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
Las funciones o tareas que se ejecutan en este laboratorio son muestreos y análisis de muestras y tejidos biológicos (biopsias).
- Instalaciones de ventilación:
El laboratorio dispone dos mesas con extracción localizada por la superficie de las mismas donde se realizan las tareas de tallaje de muestras biológicas.
- La estancia cuenta con seis taquillas de ubicación de muestras biológicas y un armario de seguridad.

Equipos de Protección Individual.

- El personal utiliza mascarillas Certificadas CE, tipo FFPP2 y guantes de nitrilo Certificadas CE EN 374, cat. 3.

Índices: véase tablas 46 y 47.

Tabla 46. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Ácido Clorhídrico	C	A	M	3	6	20
Ácido Nítrico	C	M	M	3	6	
Formaldehído	E	M	M	4	8	

Tabla 47. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	13	20*(5+22)= 540
	Ilo	0		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			20	

LABORATORIO 11FMAP

Actividad: Laboratorio Citología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Las tareas que se ejecutan en este laboratorio son análisis de líquidos y punciones.

- La instrumentación con la que cuenta este laboratorio es la siguiente:

- dos microscopios
- citoespín
- citocentrífuga
- batidor

Además de los cuatro laboratorios asociados a este departamento, se cuenta con una sala de uso común para todos los laboratorios que cuenta con la siguiente instrumentación:

- 1 Autotecnica (para confección de bloques)
- 1 Máquina calor/frío.

- Instalaciones de ventilación:

El laboratorio dispone de campana extractora y un frigorífico refrigerador de muestras. No hay armarios de seguridad.

Equipos de Protección Individual.

- El personal utiliza mascarillas de celulosa no certificadas y guantes de nitrilo certificados por la norma CE EN 374 cat. 3.

Índices: véase tablas 48 y 49.

Tabla 48. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	12
Metanol	C	A	M	3	6	
Papanicolau OG6	A	A	P	1	2	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 49. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	13	12*(13+22)= 420
	Ilo	4		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			12	

LABORATORIO 12FMAP

Actividad: Laboratorio de Macroscopía.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Este laboratorio está destinado a la recepción de biopsias y tratamiento previo manual (tallado) de las mismas, antes de ser procesadas.

- Fuentes de emisión:

1º.- Número, tipo y posición de los focos de emisión:

Dado que el uso de formaldehído es el más significativo en este laboratorio y que puede ocasionar más riesgo respecto a la exposición laboral a agentes químicos, podemos decir que los focos más importantes son:

- operaciones de trasvase de muestras entre diferentes recipientes y entre recipientes y superficies de trabajo,

- manipulación de muestras contenidas en recipientes con formaldehído para su estudio, tallado, etc, en la campana del laboratorio de Macroscopía,
- recipientes abiertos de almacenamiento de residuos peligrosos,
- al abrir los armarios de almacenamiento que no disponen de sistema de extracción localizada.

En cuanto al número de focos de emisión, además de las zonas anteriormente señaladas, destaca la existencia de grandes cantidades de formaldehído almacenadas prácticamente en todas las salas del servicio de Anatomía patológica visitadas, constituyendo un factor de riesgo adicional.

2º.- Grado de desprendimiento:

El mayor grado se produce en los trasvases de piezas y en la campana de extracción durante el procesado de las muestras.

3º.- Dispersión por movimientos de aire:

Debido a que el laboratorio de Macroscopía no es un recinto especialmente confinado existe en él una atmósfera con mayor o menor grado de contaminación que ha sido determinado en un estudio posterior.

- Instalaciones de ventilación:

La ventilación del laboratorio está controlada por tres campanas de extracción, una de las cuales no dispone de los filtros pertinentes. Las otras dos son mesas de trabajo con extracción localizada por el plano horizontal y evacuación posterior del aire extraído al exterior. Este laboratorio no dispone de ventilación general forzada. Disponen de ventilación natural (una ventana con posibilidad de apertura y la puerta de acceso a la habitación). La habitación tiene aproximadamente 10 m² de superficie, con un cubicaje aproximado de 30 m³.

- El laboratorio dispone de dos armarios de seguridad uno de los cuales dispone de extracción propia.

Índices: véase tablas 50 y 51.

Tabla 50. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	12
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 51. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	6	$12 \times (6+19) = 300$
	Ilo	1		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	19	
	Ipd	1		
	Ipo	1		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			12	

LABORATORIO 13FMAP

Actividad: Laboratorio procesamiento de muestras.

Control técnico.

- Fuentes de emisión:

La principal fuente de emisión de contaminantes químicos (en este caso formaldehído principalmente) se produce al meter las piezas y al abrir el deshidratador en el aparato de inclusión automático en parafina.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Se deshidrata la muestra tallada procedente del laboratorio de Macroscopía y se incluye en parafina mediante un aparato de inclusión automático en parafina (ThermoShandom).

- Instalaciones de ventilación:

Dispone de una campana de extracción localizada (vitrina de gases), la ventilación general es natural.

Índices: véase tablas 52 y 53.

Tabla 52. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	12
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 53. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	12*(15+22)= 444
	Ilo	4		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			12	

LABORATORIO 14FMAP

Actividad: Laboratorio General de Histología y Citología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

La tarea principal realizada son los cortes en parafina de forma manual y montaje de prepunciones. Además, se realizan las tinciones de las muestras de manera automática.

- Fuentes de emisión:

Los contaminantes emitidos destacables son xileno, etanol y formaldehído. Este último procede principalmente de una batería de envases de tinciones que se encontraban fuera de campana junto a la ventana.

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de dos campanas de extracción habilitadas para las tinciones y biopsias rápidas. Estas campanas de extracción pueden ser útiles para ventilar el laboratorio, que sólo posee ventilación natural; sin embargo, no se suelen utilizar con este fin debido al “ruido” que generan (desde el punto de vista de algunos trabajadores).

Índices: véase tablas 54 y 55.

Tabla 54. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Bromuro de Etidio	E	As	B	4	8	20
Etanol	A	M	M	1	2	
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 55. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	8	$20 \times (8+22) = 600$
	Ilo	1		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			20	

LABORATORIO 15FMAP

Actividad: Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular.

Control técnico

- Tareas y técnicas de trabajo:
Análisis de las muestras, ya procesadas, mediante fluorescencia molecular.
- Fuentes de emisión:
La principal fuente la constituye el bromuro de etidio.
- Instalaciones de ventilación:
No dispone de ventilación natural ni forzada. No tiene ventanas.

Índices: véase tablas 56 y 57.

Tabla 56. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Bromuro de Etidio	E	As	B	4	8	8

Tabla 57. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN		GLOBAL
IL	Ia	3	17	$8 \cdot (17+25) = 336$
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			8	

LABORATORIO 16FMAP

Actividad: Laboratorio de Histoquímica.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Se realizan principalmente tinciones de muestras.

- Fuentes de emisión:

Son, principalmente, formaldehído, xileno, alcoholes y tolueno, procedentes de los preparados para tinciones.

- Instalaciones de ventilación:

Existe una campana de extracción localizada dotada con filtros para la realización de las tinciones. La ventilación forzada se produce por las corrientes generadas en las dos puertas debido a la extracción de aire de la mesa.

Índices: véase tablas 58 y 59.

Tabla 58. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	16
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Tolueno	B	M	M	2	4	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 59. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	13	16*(13+25)= 608
	Ilo	4		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			16	

LABORATORIO 17FMAP

Actividad: Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
 - Básicamente se realizan tinciones de muestras.
- Fuentes de emisión:
 - Disolución ya preparada de bromuro de etidio que se utiliza para la investigación.
 - Isopentano y nitrógeno líquido para congelar la muestra.
 - Xileno para las tinciones de muestras.
 - Diaminobenzidina para el contraste en las técnicas histoquímicas, poniendo de manifiesto la reacción antígeno-anticuerpo.
 - Existen radioisótopos que guardan en un pequeño almacén anexo.
- Instalaciones de ventilación:
 - Disponen de una campana de extracción, que no utilizan frecuentemente. También existen ventanas para ventilación natural.
 - Este laboratorio tiene un pequeño almacén que dispone de ventilación forzada.

Índices: véase tablas 60 y 61.

Tabla 60. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Bromuro de Etidio	E	As	B	4	8	32
Diaminobencidina	E	As	M	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Tolueno	B	M	M	2	4	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 61. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	11	32*(11+25)= 1152
	Ilo	4		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			32	

LABORATORIO 18FMAP

Actividad: Laboratorio de Citología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Fundamentalmente se realizan tinciones de muestras en los portas con colorantes para posterior estudio a través de microscopio.

- Fuentes de emisión:

Las propias al realizar las tinciones, donde se desprende xileno y colorantes (entre otros azul de toluidina, rojo de alizarina S, verde metilo pironina).

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de una campana de extracción para tinciones y ventanas para ventilación natural.

Índices: véase tablas 62 y 63.

Tabla 62. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	12
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 63. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	11	$12 \cdot (11+25) = 432$
	Ilo	4		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			12	

LABORATORIO 19FMAP

Actividad: Sala de Autopsias.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Se lleva a cabo la disección de los cuerpos y el estudio de los mismos.

- Fuentes de emisión:

El principal contaminante es el formaldehído que se desprende al abrir y cerrar los recipientes donde se quieren conservar los órganos pertinentes.

- Instalaciones de ventilación:

No dispone de ventilación forzada alguna.

Índices: véase tablas 64 y 65.

Tabla 64. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	10
Formaldehído	E	M	M	4	8	

Tabla 65. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	10*(17+25)= 420
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			10	

LABORATORIO 20FMBQ

Actividad: Laboratorio de Proteínas y Lípidos.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
Se determinan poliproteínas, lípidos y litio en sangre.
- Fuentes de emisión:
Principalmente el éter, utilizado para disolver las grasas.
- Instalaciones de ventilación:
Ninguna (ventanas cerradas).

Índices: véase tablas 66 y 67.

Tabla 66. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	6
Éter Etilico	B	A	M	2	4	

Tabla 67. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	6*(17+25)= 252
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			6	

LABORATORIO 21FMBQ

Actividad: Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Diagnósticos clínicos por cromatografía, electroforesis, CSR...

- Fuentes de emisión:

Bromuro de etidio preparado a partir del polvo en las dependencias del departamento de Medicina Legal, donde se dispone de sistemas de extracción.

El SDS y el DPC usados para la recombinación de RNA.

- Instalaciones de ventilación:

Sólo disponen de ventilación natural. Cuando trabajan con bromuro de etidio, lo preparan a partir del polvo, o utilizan SDS y DPC y lo hacen en el Departamento de Medicina Legal, donde sí disponen de sistemas de extracción.

Índices: véase tablas 68 y 69.

Tabla 68. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Acido Acético	C	M	M	3	6	26
Bromuro de Etidio	E	As	P	4	8	
DPC	A	M	P	1	2	
Fenol	C	M	M	3	6	
SDS	D	M	P	2	4	

Tabla 69. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	26*(17+25)= 1092
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			26	

LABORATORIO 22FMBQ

Actividad: Laboratorio de Neuroquímica.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
Análisis de catecolaminas (por ej. adrenalina y metabolitos), mediante un sistema de separación y posterior detección, en orina de 24 horas, acidificada con ácido diluido, hasta pH 2.
- Fuentes de emisión:
No procede.
- Instalaciones de ventilación:
Sólo disponen de ventilación natural.

Índices: véase tablas 70 y 71.

Tabla 70. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
Etanol	A	M	M	1	2	10
Metanol	C	A	P	2	4	
Nitroanilina	C	M	P	2	4	

Tabla 71. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	10*(17+25)= 420
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			10	

LABORATORIO 23FMBQ

Actividad: Laboratorio de experimentación animal.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
Inyectan a las ratas del animalario y extraen fluidos biológicos.
- Fuentes de emisión:
No procede.
- Instalaciones de ventilación:
No dispone de ventilación.

Índices: véase tablas 72 y 73.

Tabla 72. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Cloroformo	E	A	P	4	8	12
Éter Etilico	B	A	M	2	4	

Tabla 73. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	12*(17+25)= 504
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			12	

LABORATORIO 24FMBQ

Actividad: Laboratorio de Neurobiología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Estudian la conducta animal (en ratas), y el efecto de fármacos sobre las mismas. Lo hacen mediante el estudio del cerebro de los animales, inyectándole formol para endurecerlo y realizando cortes. Tras fijar el cerebro en la preparación, se lleva a cabo la tinción y se elimina la grasa con xileno.

- Fuentes de emisión:

El formaldehído y el xileno desprendidos en los procedimientos descritos anteriormente.

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de una campana de extracción con filtro de carbono que se cambia cada cierto tiempo, para cuando trabajan con formaldehído y xileno, climatizador, y ventilación natural.

Índices: véase tablas 74 y 75.

Tabla 74. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Formaldehído	E	M	M	4	8	10
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 75. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	10*(17+25)= 420
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			10	

LABORATORIO 25FMBQ

Actividad: Laboratorio de Autoestimulación.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Toma de la presión arterial de las ratas sanas procedentes del animalario, que someten a estimulación externa.
- Fuentes de emisión:

No se trabaja con productos químicos, así que no procede.
- Instalaciones de ventilación:

Existe un sistema extractor en uno de los laterales, que da a un pasillo de las dependencias.

Índices: véase tablas 76 y 77.

Tabla 76. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
No procede				-		0

Tabla 77. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	13	$0*(13+0)=0$
	Ilo	6		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	-	0	
	Ipd	-		
	Ipo	-		
	If	-		
	Iph	-		
Σ Is			0	

LABORATORIO 26FMBQ

Actividad: Laboratorio de Marcadores tumorales.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Introducción de las muestras de sangre en el equipo que realiza los análisis de forma automática (INMULITE 2000).

- Fuentes de emisión:

No procede.

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de ventilación natural.

Índices: véase tablas 78 y 79.

Tabla 78. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
No procede						0

Tabla 79. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	$0 \times (15+0) = 0$
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	-	0	
	Ipd	-		
	Ipo	-		
	If	-		
	Iph	-		
Σ Is			0	

LABORATORIO 27FMBQ

Actividad: Laboratorio análisis bioquímico.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
Se llevan a cabo ensayos de alergia y autoinmunidad (Elisa).
- Fuentes de emisión:
No procede.

- Instalaciones de ventilación:

No dispone de ventilación forzada.

Índices: véase tablas 80 y 81.

Tabla 80. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
No procede						0

Tabla 81. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	$0 \cdot (15+0) = 0$
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	-	0	
	Ipd	-		
	Ipo	-		
	If	-		
	Iph	-		
Σ Is			0	

LABORATORIO 28FMBQ

Actividad: Laboratorio de Inmunología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Hacen análisis de inmunología sobre muestras biológicas (sangre, orina, plasma...) como Western Blotting y electroforesis.

- Fuentes de emisión:

La preparación del bromuro de etidio a partir del sólido pulverizado. El resto de agentes contaminantes son principalmente biológicos.

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de tres campanas de flujo para esterilizar las muestras que se encuentran en la habitación de cultivos y a la entrada.

En el almacén anexo existe un extractor como único medio de ventilación, que da a un despacho y cuya salida está tapada con un cuadro.

Índices: véase tablas 82 y 83.

Tabla 82. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Ácido Clorhídrico	C	A	M	3	6	24
Ácido Sulfúrico	C	A	M	3	6	
Bromuro de Etidio	E	As	B	4	8	
Éter Etilico	B	A	M	2	4	

Tabla 83. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	24*(15+28)= 1032
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	28	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	4		
Σ Is			24	

LABORATORIO 29FMBQ

Actividad : Laboratorio de Renina.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
Realizan análisis de hormonas tiroideas, con el INMULITE 2000.
- Fuentes de emisión:
No procede.
- Instalaciones de ventilación y otras formas de control técnico:
Disponen de ventilación natural y de un sistema de aire acondicionado muy antiguo.

Índices: véase tablas 84 y 85.

Tabla 84. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
Ácido Clorhídrico	C	A	M	3	6	8
Etanol	A	M	M	1	2	

Tabla 85. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	$8 \cdot (15+28) = 344$
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	28	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	4		
ΣIs			8	

LABORATORIO 30FMBQ

Actividad: Laboratorio de Radio Inmuno Ensayo. (Radio Immune Assais). R.I.A.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Se realizan análisis de hormonas y cuantificación de RNA.

La cuantificación del RNA implica:

- Extracción de RNA. Utilizan los siguientes productos: solución desnaturalizante (tiocianato de guanidina, laurosarcosil, beta mercaptoetanol y citrato sódico), fenol, cloroformo isoamílico, acetato sódico, isopropanol y etanol.
- Electroforesis. Utilizan: tampón TAE (TRIS, acetato sódico y EDTA), agarosa, tampón de carga y bromuro de etidio.

- Fuentes de emisión:

Los disolventes volátiles usados en la cuantificación de RNA son cloroformo, alcohol isoamílico, etanol, fenol, isopropanol.... Cabe destacar, como fuente de emisión, el bromuro de etidio.

- Instalaciones de ventilación:

Sólo disponen de ventilación natural.

Índices: véase tablas 86 y 87.

Tabla 86. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Ácido Clorhídrico	C	A	M	3	6	8
Etanol	A	M	M	1	2	

Tabla 87. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	8*(15+28)= 344
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	28	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	4		
ΣIs			8	

LABORATORIO 31FMBQ

Actividad: Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4).

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Se realizan la siguientes prácticas:

- Electroforesis de proteínas.
- Cromatografía en capa fina (TLC).
- Determinación de grupos sanguíneos mediante antisueros ya preparados.
- Separación de linfocitos en sangre usando Ficoll (polisucrosa).

- Fuentes de emisión:

Para electroforesis se usa un colorante negro amido que contiene metanol y agua/acético y reactivo transparentador (metanol: ciclohexano; 870 ml: 30ml).

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de un extractor en una de las ventanas, que genera un caudal de 900 m³/hora, permitiendo la renovación de aire en la sala. La puerta no tiene rejilla por donde entre el aire, por lo que debe permanecer entreabierta cuando se estén efectuando las prácticas.

Índices: véase tablas 88 y 89.

Tabla 88. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Ácido acético	C	M	M	3	6	28
n-butanol	C	M	M	3	6	
ciclo-Hexano	C	A	M	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
Metanol	C	A	M	3	6	

Tabla 89. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	13	$28 \cdot (13+28) = 1148$
	Ilo	6		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	28	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	4		
Σ Is			28	

LABORATORIO 32FMBQ

Actividad: Laboratorio de Farmacología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

En este laboratorio se realizan prácticas de biofísica como medidas de pH y pesadas.

No podemos destacar fuentes de emisión.

- Fuentes de emisión:

No procede.

- Instalaciones de ventilación:

No dispone de ventilación forzada.

Índices: véase tablas 90 y 91.

Tabla 90. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
No procede						0

Tabla 91. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	$0 \times (15+0) = 0$
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	-	0	
	Ipd	-		
	Ipo	-		
	If	-		
	Iph	-		
Σ Is			0	

LABORATORIO 33FMBQ

Actividad: Sección de Diabetes.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

En éste laboratorio la exposición a agentes químicos es muy baja debido a que lo que se manipula son muestras tratadas anteriormente en otro laboratorio, para analizarlas de forma automatizada. Se realizan entre otras las siguientes tareas:

- Determinación de elecrolitos (Na⁺, Ca²⁺, K⁺).
- Análisis de Urea...

- Fuentes de emisión:

Debido a la automatización de los procesos que se llevan a cabo en este laboratorio, no podemos citar ninguna fuente de emisión importante.

- Instalaciones de ventilación:

Disponen de ventanas y puertas, pero no tienen ningún sistema de ventilación artificial o extracción forzada.

Índices: véase tablas 92 y 93.

Tabla 92. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
No procede					0	

Tabla 93. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN		GLOBAL
IL	Ia	3	15	0*(15+0)= 0
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	-	0	
	Ipd	-		
	Ipo	-		
	If	-		
	Iph	-		
ΣIs			0	

LABORATORIO 34FMAEH

Actividad: Estudio morfológico del cuerpo humano.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Fijación de los embriones de pollo y rata que vienen en suero fisiológico que se pasan a una mezcla 60/40 de etanol/formol, que va aumentando hasta el 100% de formol.

Después se pasan a una mezcla de benceno/etanol (50/50) y progresivamente se va aumentando la proporción de benceno hasta el 100%.

A continuación se fijan los embriones en parafina.

- Fuentes de emisión:

Formaldehído y etanol, desprendidos al abrir los recipientes que contienen las muestras a analizar, y benceno evaporado al dejar los botes abiertos y al verter su contenido en otros recipientes.

- Instalaciones de ventilación:

La ventilación del laboratorio está controlada por una campana de extracción. Este laboratorio no dispone de ventilación forzada. Dispone de ventilación natural.

A su vez el laboratorio dispone de vitrinas para material certificadas, donde almacena tanto productos químicos como material de laboratorio.

Índices: véase tablas 94 y 95.

Tabla 94. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Etanol	A	M	M	1	2	20
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Benceno	E	A	P	4	8	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 95. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	2	12	20*(12+15)= 540
	Ilo	4		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	1	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			20	

LABORATORIO 35FMAEH

Actividad: Estudio morfológico del cuerpo humano.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
 - Inyectan embriones con alcohol y drogas.
- Fuentes de emisión:

Hay que considerar como fuente de emisión en este laboratorio, aunque su uso sea mínimo, el formaldehído y el benceno que se desprenden al tratar los embriones.

También son fuentes importantes el etanol y el xilol (usados en mayor cantidad), y la creosota. Todo estos compuestos inyectados en los embriones.
- Instalaciones de ventilación:
 - Dispone de una campana de extracción, y de ventilación natural.

Índices: véase tablas 96 y 97.

Tabla 96. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Benceno	E	A	P	4	8	36
Creosata	E	P	P	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Toluidina	E	A	P	4	8	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 97. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	13	$36 \cdot (13+25) = 1368$
	Ilo	4		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			36	

LABORATORIO 36FMAEH

Actividad: Estudio morfológico del cuerpo humano.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

La tarea principal realizada son los cortes en parafina de forma manual de muestras y, además, se utilizan técnicas de combinación de formas.

- Fuentes de emisión:

Las fuentes de emisión más destacadas es el formaldehído procedente de las piezas a cortar.

- Instalaciones de ventilación:

No disponen de campanas de extracción. El laboratorio no posee ventilación forzada, sólo natural.

Índices: véase tablas 98 y 99.

Tabla 98. ΣI_s : Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	V _r	V _a	V _c	Nivel de riesgo	I _s	ΣI_s
Acetona	D	A	M	4	8	32
Benceno	E	A	P	4	8	
Etanol	A	M	M	1	2	
Formaldehído	E	M	M	4	8	
Tolueno	B	M	M	2	4	
Xileno	A	M	M	1	2	

Tabla 99. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	15	$32 \times (15+8) = 736$
	Ilo	6		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	1	8	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	1		
	Iph	1		
ΣIs			32	

LABORATORIO 37FMAEH

Actividad: Laboratorio de Investigación básica de Cardiología.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:
 - Detección de proteínas por electroforesis.
- Fuentes de emisión:
 - La principal fuente la constituye la manipulación del bromuro de etidio y la preparación de disoluciones orgánicas.
- Instalaciones de ventilación:
 - Se dispone de ventilación natural además de una campana de extracción.

Índices: véase tablas 100 y 102.

Tabla 100. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Acetona	D	A	M	4	8	32
Bromuro de etidio	E	As	B	4	8	
Glicina	B	A	P	2	4	
Metanol	C	A	M	3	6	
Xileno	A	M	M	1	2	
Mercaptoetanol	C	M	P	2	4	

Tabla 101. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	8	$32 \times (8+15) = 736$
	Ilo	1		
	Iv	6		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	1	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
Σ Is			32	

LABORATORIO 38FMAEH

Actividad: Laboratorio de prácticas de disección.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

Diseccionar y disecar piezas de anatomía humana. Enseñar la morfología humana al alumnado.

- Fuentes de emisión:

Básicamente el formaldehído desprendido por los cuerpos en las disecciones.

Otros trabajadores están expuestos, además, al formaldehído, tanto en la limpieza de la sala, que suele durar aproximadamente 2 h. y que se lleva a cabo con mangueras de agua a presión y productos de limpieza (lejía o amoníaco), como durante el riego de los cuerpos ya sea con una mezcla agua/formaldehído, o sólo con agua.

También se inyectan los cadáveres con formol al 10% desde una cuba de 40 L.

- Instalaciones de ventilación:

Existe un sistema de impulsión y extracción de aire sobre cada mesa. Además, hay ventilación forzada y posibilidad de disponer de ventilación natural adicional.

Índices: véase tablas 102 y 103.

Tabla 102. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Formaldehído	E	M	M	4	8	8

Tabla 103. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	1	9	$8 \times (9+15) = 192$
	Ilo	4		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	1	15	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			8	

LABORATORIO 39FCQA

Actividad: Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos.

Control técnico.

- *Tareas y técnicas de trabajo:*

En este laboratorio se llevan a cabo principalmente estudios de luminiscencia.

- *Fuentes de emisión:*

Las principales fuentes de emisión, son las correspondientes a los disolventes utilizados tales como metanol, etanol, y acetonitrilo, siendo la más destacada la generada por la Rhodamina 6-G, que usan en para la quimioluminiscencia.

- *Instalaciones de ventilación:*

La ventilación del laboratorio está controlada por una campana de extracción a la entrada del mismo y ventilación natural por puertas y ventanas.

Índices: véase tablas 104 y 105.

Tabla 104. ΣIs: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	ΣIs
Ácido Sulfúrico	C	A	M	3	6	24
Acetonitrilo	C	M	M	3	6	
Etanol	A	M	M	1	2	
Metanol	C	A	M	3	6	
Rhodamina 6-G	B	M	M	2	4	

Tabla 105. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	3	17	24*(17+25)= 1008
	Ilo	6		
	Iv	8		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	25	
	Ipd	4		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣIs			24	

LABORATORIO 40FBBA

Actividad: Proceso mecánico de la imagen, Pintura y Restauración pictórica.

Control técnico.

- Tareas y técnicas de trabajo:

En este taller se llevan a cabo principalmente restauraciones de lienzos pintados al óleo.

- Fuentes de emisión:

Las principales fuentes de emisión, son las correspondientes a los disolventes utilizados en las operaciones de restauración (limpieza y reposición pictórica).

- Instalaciones de ventilación y otras formas de control técnico:

Cuenta con un sistema de ventilación forzada que proporciona una renovación efectiva del aire del taller. Adicionalmente dispone de una vitrina de gases para la preparación de disoluciones y preparados químicos.

También dispone de un sistema de extracción localizada móvil que, aunque muy ruidoso, está operativo.

Índices: véase tablas 106 y 107.

Tabla 106. Σ Is: Índice de riesgo de las sustancias.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is	Σ Is
Aguarrás	A	M	M	1	2	4
Esencia de trementina	A	M	M	1	2	

Tabla 107. IPMAQ del laboratorio.

FACTOR	INDICE	VALORACIÓN	TOTAL	GLOBAL
IL	Ia	2	14	$4 \times (14+22) = \mathbf{144}$
	Ilo	8		
	Iv	4		
	Im	0		
	Ie	0		
Ir	Ipr	8	22	
	Ipd	1		
	Ipo	4		
	If	8		
	Iph	1		
ΣI_s			4	

4.2. Resumen de los resultados en los laboratorios evaluados.

Exponemos en la tabla 108 resumen de los resultados tras aplicar la metodología propuesta indicando, para cada laboratorio, el índice del Laboratorio IL, el índice debido al personal Ir y el Índice de Peligrosidad en el Manejo de las Sustancias Químicas, IPMAQ.

Tabla 108. Resultados finales.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	IPMAQ
1FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	10	21	56	1736
2FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	10	15	16	400
3FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales	10	15	26	650
4FCQO	Investigación en química orgánica	11	15	24	624
5FCB	Investigación con Biomembranas	20	21	48	1680
6FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	6	15	84	1764
7FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	16	28	36	1224
8FMAP	Laboratorio general	5	22	4	108
9FMAP	Laboratorio Inmunoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728
10FMAP	Laboratorio Tallaje	5	22	20	540
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología	13	22	12	420
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	6	19	12	300
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	15	22	12	444
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	8	22	20	600
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	17	25	8	336
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	13	25	16	608
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	11	25	32	1152
18FMAP	Laboratorio de Citología.	11	25	12	432
19FMAP	Sala de Autopsias	17	25	10	420
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	17	25	6	252
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	17	25	26	1092
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	420
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	504
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	420
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	0
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	0
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	0
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	1032
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	344
30FMBQ	Laboratorio de radio inmunoensayo. Radioimmunoassay (R.I.A.)	15	28	8	344
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	1148
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	0
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	0
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	12	15	20	540
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	13	25	36	1368
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	15	8	32	736
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	736
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	9	15	8	192
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	14	25	24	1008
40FBBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	17	22	4	144

Estos resultados se pueden ordenar, para su mejor visualización, por orden decreciente del IPMAQ calculado. (Tabla 109).

Tabla 109. Clasificación de los laboratorios acorde con su IPMAQ. Orden decreciente.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	Σ Is	IPMAQ
6FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	6	15	84	1764
1FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	10	21	56	1736
9FMAP	Laboratorio Inmunoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728
5FCB	Investigación con Biomembranas	20	21	48	1680
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	13	25	36	1368
7FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	16	28	36	1224
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	11	25	32	1152
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	1148
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	17	25	26	1092
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	1032
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	14	25	24	1008
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	15	8	32	736
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	736
3FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales	10	15	26	650
4FCQO	Investigación en química orgánica	11	15	24	624
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	13	25	16	608
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	8	22	20	600
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	12	15	20	540
10FMAP	Laboratorio Tallaje	5	22	20	540
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	504
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	15	22	12	444
18FMAP	Laboratorio de Citología.	11	25	12	432
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología	13	22	12	420
19FMAP	Sala de Autopsias	17	25	10	420
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	420
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	420
2FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	10	15	16	400
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	344
30FMBQ	Laboratorio de radio inmunoensayo. Radioimmunoassay (R.I.A.)	15	28	8	344
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	17	25	8	336
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	6	19	12	300
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	17	25	6	252
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	9	15	8	192
40FBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	17	22	4	144
8FMAP	Laboratorio general	5	22	4	108
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	0
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	0
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	0
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	0
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	0

Recordemos que el IPMAQ tiene entre sus factores el Índice global de riesgo de las sustancias manejadas (Σ Is), siendo por tanto interesante ordenar los laboratorios por orden decreciente de dicho factor.

Tabla 110. Clasificación de los laboratorios acorde con el índice Σ Is. Orden decreciente.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	Σ Is	IPMAQ
6FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	6	15	84	1764
9FMAP	Laboratorio Inmunoestoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728
1FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	10	21	56	1736
5FCB	Investigación con Biomembranas	20	21	48	1680
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	13	25	36	1368
7FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	16	28	36	1224
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	11	25	32	1152
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	15	8	32	736
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	736
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	1148
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	17	25	26	1092
3FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales	10	15	26	650
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	1032
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	14	25	24	1008
4FCQO	Investigación en química orgánica	11	15	24	624
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	8	22	20	600
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	12	15	20	540
10FMAP	Laboratorio Tallaje	5	22	20	540
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	13	25	16	608
2FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	10	15	16	400
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	504
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	15	22	12	444
18FMAP	Laboratorio de Citología.	11	25	12	432
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología	13	22	12	420
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	6	19	12	300
19FMAP	Sala de Autopsias	17	25	10	420
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	420
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	420
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	344
30FMBQ	Laboratoiro de radio inmunoensayo. Radioimmuneassay (R.I.A.)	15	28	8	344
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	17	25	8	336
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	9	15	8	192
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	17	25	6	252
40FBBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	17	22	4	144
8FMAP	Laboratorio general	5	22	4	108
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	0
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	0
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	0
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	0
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	0

El orden establecido se puede modificar si clasificamos a los laboratorios por su Índice debido al Laboratorio (IL). En este caso la clasificación queda establecida según la siguiente tabla.

Tabla 111. Clasificación de los laboratorios acorde con su IL. Orden decreciente.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣI_s	IPMAQ
5FCB	Investigación con Biomembranas	20	21	48	1680
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	17	25	26	1092
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	504
19FMAP	Sala de Autopsias	17	25	10	420
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	420
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	420
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	17	25	8	336
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	17	25	6	252
40FBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	17	22	4	144
7FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	16	28	36	1224
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	1032
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	15	8	32	736
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	15	22	12	444
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	344
30FMBQ	Laboratorio de radio inmunoensayo. Radioimmunoassay (R.I.A.)	15	28	8	344
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	0
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	0
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	0
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	0
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	14	25	24	1008
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	13	25	36	1368
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	1148
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	13	25	16	608
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología	13	22	12	420
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	0
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	12	15	20	540
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	11	25	32	1152
4FCQO	Investigación en química orgánica	11	15	24	624
18FMAP	Laboratorio de Citología.	11	25	12	432
1FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	10	21	56	1736
3FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales	10	15	26	650
2FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	10	15	16	400
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	9	15	8	192
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	736
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	8	22	20	600
6FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	6	15	84	1764
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	6	19	12	300
9FMAP	Laboratorio Inmunoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728
10FMAP	Laboratorio Tallaje	5	22	20	540
8FMAP	Laboratorio general	5	22	4	108

Finalmente, se pueden clasificar según el índice de peligrosidad asociado a la persona. Así, en orden decreciente con respecto a dicho índice Ir, obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 112: Clasificación de los laboratorios acorde con el índice Ir. Orden decreciente.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	Σ Is	IPMAQ
7FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	16	28	36	1224
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	1148
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	1032
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	344
30FMBQ	Laboratoiro de radio inmunoensayo. RadioimmuneAssay (R.I.A.)	15	28	8	344
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	13	25	36	1368
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	11	25	32	1152
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	17	25	26	1092
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	14	25	24	1008
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	13	25	16	608
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	504
18FMAP	Laboratorio de Citología.	11	25	12	432
19FMAP	Sala de Autopsias	17	25	10	420
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	420
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	420
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	17	25	8	336
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	17	25	6	252
9FMAP	Laboratorio Inmunoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	8	22	20	600
10FMAP	Laboratorio Tallaje	5	22	20	540
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	15	22	12	444
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología	13	22	12	420
40FBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	17	22	4	144
8FMAP	Laboratorio general	5	22	4	108
1FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	10	21	56	1736
5FCB	Investigación con Biomembranas	20	21	48	1680
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	6	19	12	300
6FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	6	15	84	1764
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	736
3FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales	10	15	26	650
4FCQO	Investigación en química orgánica	11	15	24	624
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	12	15	20	540
2FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	10	15	16	400
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	9	15	8	192
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	15	8	32	736
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	0
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	0
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	0
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	0
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	0

CAPÍTULO 5

CONTRASTE DE LA VALIDEZ DEL IPMAQ

5. CONTRASTE DE LA VALIDEZ DEL IPMAQ.

El método desarrollado, tal como se ha mostrado en el capítulo anterior, es fácil de aplicar y creemos que muy útil para el higienista industrial. No obstante, sería interesante comparar la valoración de la peligrosidad los laboratorios a través del IPMAQ con la situación a la que se llegaría midiendo las concentraciones ambientales de las sustancias manejadas en esos mismos laboratorios.

El objetivo de las mediciones que hemos realizado es el de determinar la eficacia de las medidas de control de los laboratorios para proceder a la adecuada ponderación del Índice de ventilación del laboratorio. La hipótesis de partida, en este caso, es que en un laboratorio donde las concentraciones ambientales de agentes químicos estén cercanas al valor límite ambiental establecido, ejemplificaría a un laboratorio de la mayor peligrosidad. La posibilidad de encerramiento del foco emisor de contaminación, forma de trabajo y de manejar las sustancias químicas influye notablemente en estas concentraciones ambientales tal y como se expresó en el capítulo 3, de metodología. En este sentido, debería mantenerse cierta correlación con el IPMAQ del mismo, de tal manera que el IPMAQ de dicho laboratorio fuese, en cierta medida, también elevado.

De hecho, si ordenamos los diferentes laboratorios según los diferentes niveles de concentración ambiental obtenidos, deberíamos obtener un orden similar al obtenido al ordenar su peligrosidad según el IPMAQ. Esta circunstancia obliga a incluir en la metodología propuesta un factor de ponderación que tenga en cuenta las concentraciones ambientales previsibles sin necesidad de proceder al muestro correspondiente de las concentraciones ambientales. Factor, que en nuestro caso, le hemos denominado “k”.

5.1 Mediciones de la concentración ambiental de agentes químicos.

De los 40 laboratorios en los que se aplicó la metodología, hemos seleccionado de 8 laboratorios en los que hemos realizado un muestreo ambiental de las concentraciones de las sustancias utilizadas. El criterio de selección de los laboratorios ha sido la variedad y cantidad de sustancias químicas utilizadas, lo que pudimos comprobar en el estudio de las evaluaciones de riesgo del SPRL, en los cuestionarios que se diseñaron al efecto para esta Tesis y los datos recogidos en las entrevistas personalizadas.

Los laboratorios son:

- 1FCQO. Biotecnología de hongos y síntesis de moléculas bioactivas.
- 2FCQO. Química de carbohidratos, síntesis, reactividad y diseño.
- 3FCQO. Biotecnología y Química de Productos Naturales.
- 4FCQO. Productos Naturales y Síntesis Orgánica Aplicada.
- 5FCB. Bioquímica y Biología Molecular I.
- 6FFQ. Química Farmacéutica.
- 38FMAEH. Estudio morfológico del cuerpo humano.
- 40FBBA. Restauración sobre lienzo.

En todos ellos hemos realizado muestreos ambientales según lo establecido en la *norma UNE 689* y en la *Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por inhalación* establecida por el INSHT.

En los resultados que a continuación exponemos se ponen de manifiesto las concentraciones de todas las sustancias químicas presentes en el ambiente de cada laboratorio. Para cada sustancia, se ha calculado la exposición diaria (ED) que tiene una persona que esté en el interior de las instalaciones evaluadas y que representa la exposición para cada uno de los distintos agentes químicos presentes “i” y la hemos comparado con su correspondiente VLA ED y VLA EC según corresponda. Para realizar dicha comparación hemos utilizado el Índice de exposición I_i:

$$I_i = ED_i / VLA_i$$

donde:

I_i: representa el índice de exposición al agente químico presente “i”,

ED_i: es la exposición diaria medida y calculada y VLA_i es su valor límite respectivo.

Si el resultado obtenido es mayor que la unidad, ha de entenderse que se ha superado el VLA para la sustancia en cuestión. El cálculo anterior es aplicable, tanto a la comparación de ED con VLA-ED, como a la de EC con VLA-EC.

No obstante, recordemos que los VLA se establecen para agentes químicos específicos y no para las mezclas de éstos, que es la situación más habitual en un laboratorio. En nuestro caso, cuando los agentes que ejercen la misma acción sobre los mismos órganos o sistemas, es su efecto combinado el que requiere una consideración preferente. Dicho efecto combinado debe

ser considerado como aditivo, salvo que se disponga de información que indique que los efectos son sinérgicos o bien independientes¹.

De esta forma, pueden manifestarse tres tipos de efectos combinados:

- Independiente: cada uno de los tóxicos concurrentes genera un efecto distinto a través de un modo de acción diferente (ejemplo: monóxido de carbono y ácido cianhídrico).
- Sinérgicos: el efecto combinado es mayor que el de cada uno de los componentes de la mezcla. A su vez, los efectos sinérgicos pueden clasificarse en:
 - o Aditivos: cuando la magnitud del efecto combinado es igual a la suma de los efectos producidos separadamente por cada uno de los tóxicos sobre un mismo órgano o sistema fisiológico. $E_a + E_b = E(a+b)$, ejemplo: malathion + parathion ($1 + 1 = 2$).
 - o Potenciales: cuando el efecto combinado es más que aditivo. Uno o varios productos multiplican la acción de los otros, $E_a + E_b > E(a + b)$ o $E_a + 0 > E_a$. El efecto total sólo puede calcularse si se conoce la magnitud de los potenciadores, ejemplo: percloroetileno + tolueno ($1 + 1 > 2$).
- Antagónicos o inhibidores: el efecto combinado es inferior al aditivo. En presencia de un tóxico se inhibe la acción del otro: $E_a + E_b < E(a + b)$, ejemplo: cadmio + cinc ($1 + 1 < 2$).

En nuestro caso, al considerarse efectos aditivos, tendremos que calcular el índice de exposición total "It" como suma de los diferentes índices de exposición observados, así:

$$I_t = \sum I_i = \sum \frac{E_{Di}}{VLA-ED_{\text{agente químico } i}} \leq 1$$

Debiendo ser, en este caso, "It" menor que 1 para no superarse el límite de la concentración máxima permisible de mezcla de agentes químicos en aire.

Llegado este momento, recordemos los significados de los dos VLA existentes en España:

a. Valor Límite Ambiental de Exposición Corta: VLA-EC

El VLA-EC es la concentración que **no debe ser superada** por ninguna exposición corta.

¹ Este criterio es el recomendado en la "Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por vía inhalatoria". Pág.:62. Ed. INSHT.

Exposición corta “EC” es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria: VLA-ED

Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias). De esta manera los VLA-ED representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud.

La variable elegida para representar la concentración ambiental de sustancias químicas en el aire ha sido el índice de Exposición de todas las sustancias presentes (I_t) definido como la suma de los Índices de exposición de todas y cada una de las sustancias presentes (i).

$$I_t = \sum \frac{ED_i}{VLA-ED_{\text{agente químico } i}}$$

Los resultados obtenidos y la metodología seguida para cada laboratorio la exponemos a continuación.

Laboratorio 1FCQO

1. Identificación.

Actividad: Biotecnología de hongos y síntesis de moléculas bioactivas.

2. Puestos de trabajo evaluados.

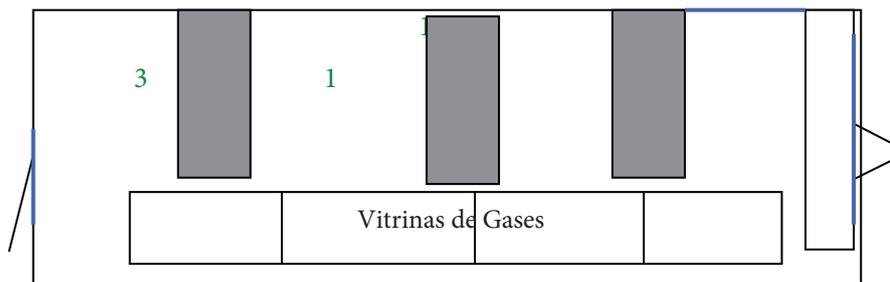
Personal docente e investigador.

Las tareas realizadas consisten, principalmente, en el trasvase y de sustancias químicas y la síntesis de las mismas. Manejan diferente instrumentación de análisis químico, así como procesos y operaciones básicas de laboratorio, tales como: filtrado, limpieza, destilación, dilución y análisis químico de sustancias.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Sobre las mesas de trabajo se llevan a cabo aquellas tareas que no requieren el uso de productos cuyos vapores puedan ser nocivos; cuando se trabaja con éstos, se suele realizar de forma habitual dentro de la vitrina de gases.

4. Principales fuentes de emisión.



Croquis de posición n° 1

En el croquis de posición n° 1, las mesas en donde se trabaja se han sombreado de gris y las vitrinas de gases en donde se realizan tareas con sustancias químicas que desprenden vapores están indicadas.

5. Sistema de ventilación existente.

Las líneas azules indican las fuentes de ventilación. Este laboratorio cuenta con ventilación natural a través de la puerta de entrada al mismo y dos ventanas que permanecen con una rendija abierta, y con sistemas de ventilación forzada consistente en las 4 vitrinas de gases, las cuales suelen estar en funcionamiento aunque no se esté trabajando con ellas.

En el croquis nº 1 figuran tres números consecutivos que corresponden a los puntos en donde se ubican las tres personas a las que les hemos colocado el muestreador: el número 1 representa a la trabajadora Confidencial 1 (trasvase de muestras), y los números 2 y 3 representan a Confidencial 2 y Confidencial 3, respectivamente (síntesis de muestras).

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

El muestreo de cloruro de metileno, n-hexano, acetona, éter dietílico, H.C. alifáticos, metiltercbutiléter y acetato de etilo, se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995. Describimos, a continuación, el procedimiento seguido.

6.1. Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.20408 lpm, previamente calibrada y tubos de carbón activo como soporte adsorbente.

El cambio de filtros se realizó cada 60 minutos.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido.

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaban síntesis de muestras y trasvase de las mismas.

La posición relativa de las personas en el laboratorio que han portado el muestreador viene determinada en el croquis nº 1, de la siguiente forma: Confidencial 1 (trasvase de muestras) 1, Confidencial 2 y Confidencial 3, respectivamente (síntesis de muestras) 2 y 3.

Se entiende que la posición relativa de la persona que porta la bomba de muestreo y hemos ubicado en el croquis es la más habitual.

La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo. El tubo de carbón activo, una vez conectado a la bomba, fue ubicado cerca de la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata de la persona.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de cloruro de metileno es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Cloruro de Metileno en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-044/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de hidrocarburos alifáticos (n-hexano) es inferior al 4% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Hidrocarburos Alifáticos (n-Hexano, n-Heptano, n-Octano, n-Nonano) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-029/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de ésteres (acetato de etilo) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de esterés I (Acetato de metilo, Acetato de etilo, Acetato de isobutilo, Acetato de n-butilo) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-023/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de éteres (éter dietílico y metiltercbutiléter) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de éteres I (Éter dietílico, Éter diisopropílico, Éter metil ter-butyl) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-047/A01.

En el caso de la Acetona, el método que se ha seguido ha sido el de “Determinación de vapores orgánicos en aire – Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases. MTA/MA-032/A98.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Cloruro de metileno.*
- *Acetato de etilo.*
- *N-Hexano.*
- *Acetona.*
- *Éter dietílico.*
- *Metiltercbutiléter.*

7.1. Exposición a cloruro de metileno.

Tabla 113. Exposición ambiental a cloruro de metileno.

Cantidad almacenada: 225 L	
Cantidad anual usada: 300 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1070
C4	1070
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del PDI una jornada de 7 horas diarias, durante un año; y en el caso de los becarios, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{cloruro metileno}} = 3,4705 \text{ mg/m}^3 \quad C_{\text{cl-me ponderada 8h}} = 3,4705 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 177 \text{ mg/m}^3$$

Gráfica nº 1. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada

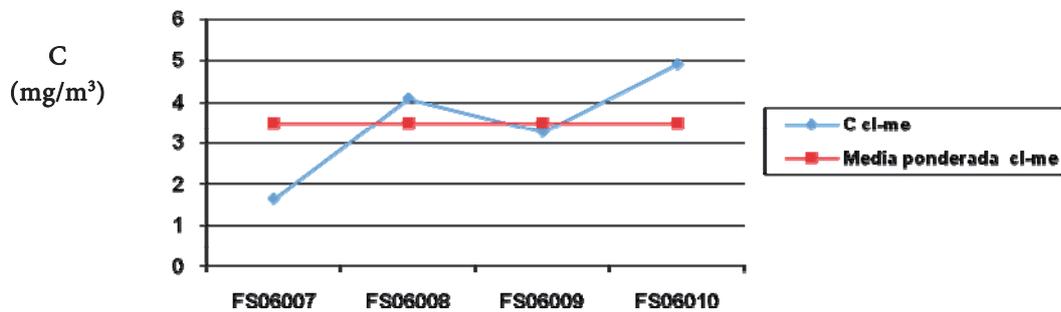


Tabla 114. Resultados obtenidos cloruro de metileno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO MUESTREADO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³)(**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06007	60	Cloruro Metileno	1,633	3,4705	3,4705	177	---
C2	1712	FS0607	60	Cloruro metileno	1,633				
C3	1712	FS0608	60	Cloruro metileno	4,083				
C4	1712	FS0608	60	Cloruro metileno	4,083				
C5	1712	FS0609	60	Cloruro Metileno	3,266				
C6	1712	FS0610	60	Cloruro metileno	4,900				
C7	1712	FS0610	60	Cloruro metileno	4,900				

(*) Datos de exposición referidos por el personal implicado

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.2. Exposición a Acetato de etilo.

Tabla 115. Exposición al contaminante Acetato de etilo.

Cantidad almacenada: 75 L	
Cantidad anual utilizada: 250 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1070
C4	1070
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 7 horas diarias, durante un año; y en el caso de los becarios, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{acetato etilo}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

No se han detectado concentraciones de acetato de etilo en las muestras analizadas.

7.3. Exposición a n-Hexano.

Tabla 116. Exposición al contaminante n-Hexano.

Cantidad almacenada: 75 L	
Cantidad anual utilizada: 250 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1070
C4	1070
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de profesor una jornada de 8 horas diarias, durante un año; y en el caso de los becarios, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

Gráfica nº 2. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

$$C_{n\text{-hexano}} = 1,224 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{n\text{-h ponderada } 8\text{h}} = 1,224 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1790 \text{ mg/m}^3$$

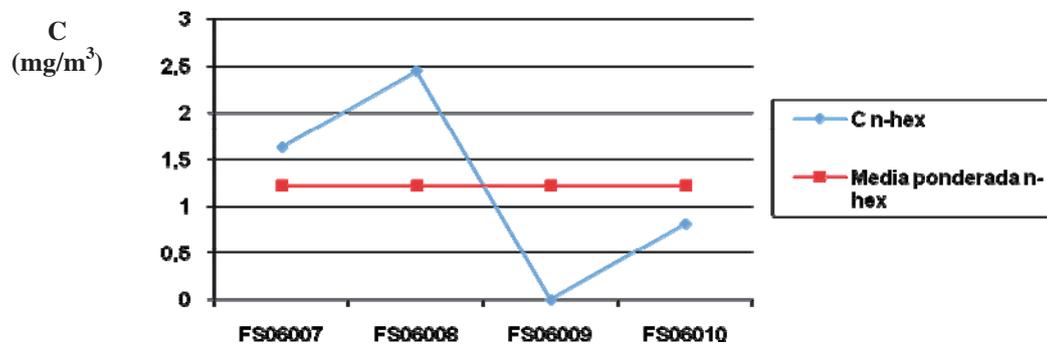


Tabla 117. Resultados obtenidos: n-Hexano.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA- ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06007	60	n-Hexano	1,633	1,224	1,224	1790	3580
C2	1712	FS0607	60	n-Hexano	1,633				
C3	1712	FS0608	60	n-Hexano	2,450				
C4	1712	FS0608	60	n-Hexano	2,450				
C5	1712	FS0609	60	n-Hexano	0				
C6	1712	FS0610	60	n-Hexano	0,816				
C7	1712	FS0610	60	n-Hexano	0,816				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.4. Exposición a Acetona.

Tabla 118. Exposición al contaminante Acetona.

Cantidad almacenada: 100 L Cantidad anual utilizada: 200 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1070
C4	1070
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 7 horas diarias, durante un año; y en el caso de los becarios, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{acetona}} = 17,15 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 17,15 \text{ mg/m}^3$$

VLA - ED: 1210 mg/m³

Gráfica nº 3. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada

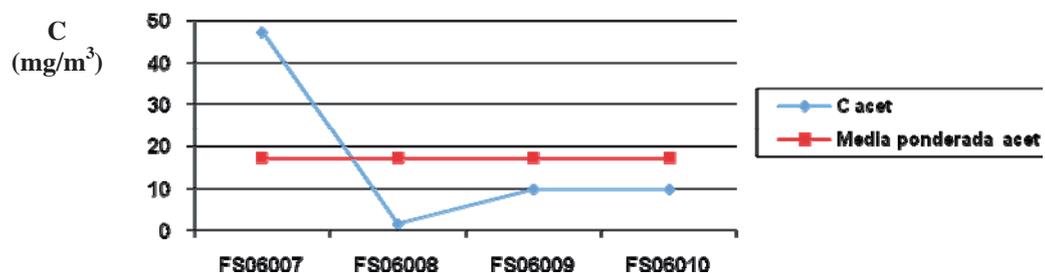


Tabla 119. Resultados obtenidos: acetona.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (**)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³)(**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06007	60	Acetona	47,367	17,15	17,15	1210	1810
C2	1712	FS0607	60	Acetona	47,367				
C3	1712	FS0608	60	Acetona	1,633				
C4	1712	FS0608	60	Acetona	1,633				
C5	1712	FS0609	60	Acetona	9,800				
C6	1712	FS0610	60	Acetona	9,800				
C7	1712	FS0610	60	Acetona	9,800				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.5. Exposición a Metiltercbutiléter.

Tabla 120. Exposición al contaminante Metiltercbutiléter.

Cantidad almacenada: 12 L Cantidad anual utilizada: 50 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1070
C4	1070
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(**) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 7 horas diarias, durante un año; y en el caso de los becarios, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{metterbutil}} = 9,799 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{mtbe ponderada 8h}} = 9,799 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 147 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 4. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

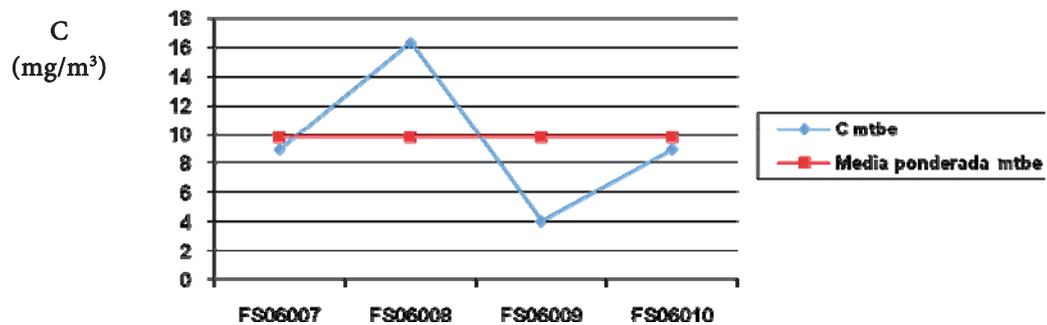


Tabla 121: Resultados obtenidos: *metil tercbutiléter*.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS0607	60	Metil tercbutiléter	8,983	9,799	9,799	147	---
C2	1712	FS0607	60	Metil tercbutiléter	8,983				
C3	1712	FS0608	60	Metil tercbutiléter	16,333				
C4	1712	FS0608	60	Metil tercbutiléter	16,333				
C5	1712	FS0609	60	Metil tercbutiléter	4,083				
C6	1712	FS0610	60	Metil tercbutiléter	8,983				
C7	1712	FS0610	60	Metil tercbutiléter	8,983				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.6. Exposición a Éter dietílico.

Tabla 122. Exposición al contaminante Éter dietílico.

Cantidad almacenada: 9 L Cantidad anual utilizada: 80 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1070
C4	1070
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 7 horas diarias, durante un año; y en el caso de los becarios, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{éter dietil}} = 9,187 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{ed ponderada 8h}} = 9,187 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1230 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 5. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

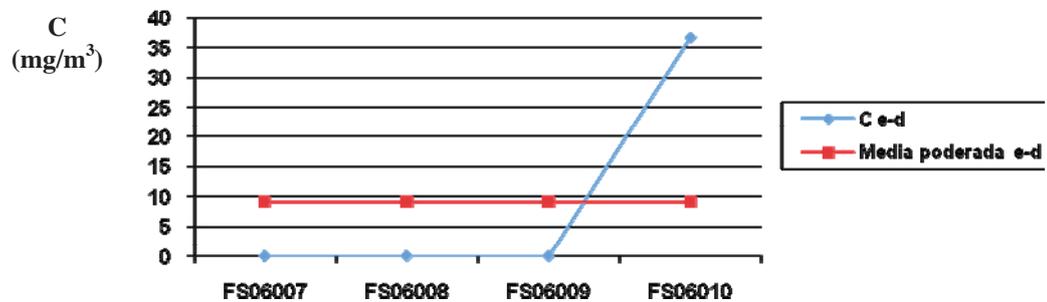


Tabla 123. Resultados obtenidos: éter dietílico.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m³) (**)	VLA-ED mg/m³	VLA-EC mg/m³
C1	1712	FS0607	60	Éter Dietílico	0				
C2	1712	FS0607	60	Éter Dietílico	0				
C3	1712	FS0608	60	Éter Dietílico	0				
C4	1712	FS0608	60	Éter Dietílico	0	9,187	9,187	1230	---
C5	1712	FS0609	60	Éter Dietílico	0				
C6	1712	FS0610	60	Éter Dietílico	36,750				
C7	1712	FS0610	60	Éter Dietílico	36,750				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Acetona, Cloruro de metileno, Metiltercbutiléter, Éter dietílico y n-Hexano.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetato de etilo:	1460 mg/m ³	-
Acetona:	1210 mg/m ³	1810 mg/m ³
Cloruro de metileno:	177 mg/m ³	-
Éter dietílico	1230 mg/m ³	1540 mg/m ³
n-Hexano:	1790 mg/m ³	3580 mg/m ³
Metil tercbutiléter:	147 mg/m ³	-

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “*Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite*” propone a nivel informativo dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a cloruro de metileno comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0196 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetona comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0,0088 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a n-hexano comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0042 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetato de etilo comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a metiltercbutiléter comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0416 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a éter dietílico comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0046 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a la mezcla de agentes químicos ambientales es: $I_t = 0,0714 < 1$. No se supera el valor límite de la mezcla.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido ha sido $I_t = 7,14 \%$, menor que el 25%; por lo tanto la siguiente medición, según los criterios establecidos en la norma UNE EN 689 y en la Guía para la evaluación del INSHT, se realizará al cabo de 64 semanas.

Tabla 124. Tabla de resultados de exposición a todos los contaminantes.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (mg/m³) (1)				Concentración media ponderada en el tiempo (mg/m³) (2)	Concentración referida a 8 horas/día (mg/m³) (3)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (mg/m³)	I (4)	It (5)
	FS0607	FS0608	FS0609	FS06010						
Cloruro de metileno	1,633	4,083	3,266	4,900	3,4705	3,4705	177	-	0,0196	
n-Hexano	1,633	2,450	0	0,816	1,224	1,224	1790	3580	0,0068	
Acetona	47,367	1,633	9,800	9,800	17,15	17,15	1210	1810	0,0142	0,115
Metil Tercbutil Eter	8,983	16,333	4,083	8,983	9,799	9,799	147	----	0,0667	
Éter dietílico	0	0	0	36,750	9,187	9,187	1230	1540	0,0074	

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra:

$$Ci = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(2)

$$Ct = \frac{\sum Ci \times Ti}{\sum Ti} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(3) (EDI) Concentración referida a 8 horas/día:

$$EDI = Ct \times \frac{Ti}{8} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(4) (It) Índice de Exposición:

$$It = \frac{EDI}{VLA-EDI}$$

(5) (Iti) Índice de exposición Global : Iti = \sum EDI / VLA-EDI

LABORATORIO 2FCQO

1. Identificación.

Química de carbohidratos, síntesis, reactividad y diseño.

2. Descripción de los puestos evaluados.

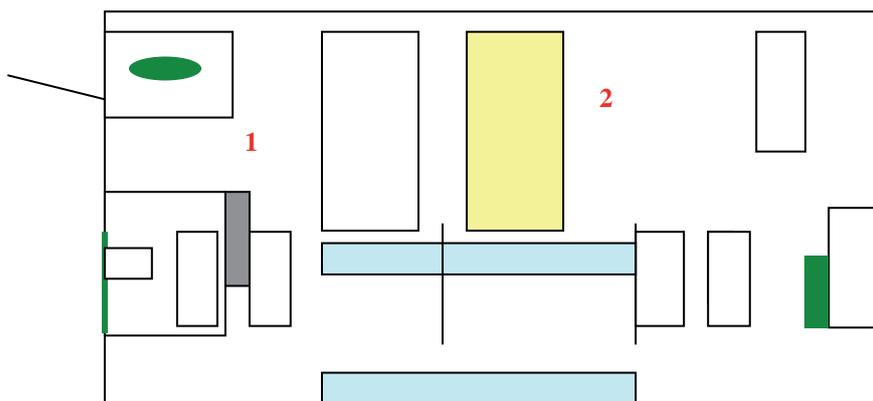
Puesto de trabajo evaluado: Personal docente e investigador.

La descripción principal de las tareas del puesto de trabajo consiste en la purificación de sustancias por cromatografía en sílica gel y ensayos biológicos (azúcares, proteínas y disolventes orgánicos). Utilizan un laboratorio donde manejan diferente instrumentación de análisis químico, así como procesos y operaciones básicas de laboratorio, tales como: filtrado, limpieza, destilación, dilución y análisis químico de sustancias.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Sobre las mesas de trabajo se llevan a cabo aquellas tareas que no requieren el uso de productos cuyos vapores puedan ser peligrosos; cuando se trabaja con éstos, se suele realizar de forma habitual dentro de la vitrina de gases.

4. Principales fuentes de emisión.



Croquis de posición nº 2

En el croquis de posición nº 2 la mesa en donde se trabaja la hemos coloreado de amarillo, y las vitrinas de gases en donde se realizan tareas con productos que desprenden vapores nocivos, están coloreadas de azul.

5. Sistema de ventilación existente.

Las líneas verdes indican los focos de ventilación. Este laboratorio cuenta con sistemas de ventilación como la puerta de entrada al mismo, la puerta de salida de emergencia (que da directamente al exterior), ambas suelen estar abiertas de forma permanente durante la jornada de trabajo; dos ventanas que permanecen con una rendija abierta, y las campanas, las cuales suelen estar en funcionamiento (dos de ocho) aunque no se esté trabajando con ellas.

En el croquis nº 2 figuran dos números consecutivos que corresponden a los puntos donde se ubican los dos trabajadores que han portado el muestreador: el nº 1 representa al trabajador C1 (purificación de sustancias por cromatografía en sílica gel), y el nº 2 representa a la trabajadora C2 (ensayos biológicos).

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

El muestreo de cloruro de metileno, acetona, éter dietílico, cloroformo y acetato de etilo, se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995.

6.1. Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.20544 lpm, previamente calibrada, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El cambio de tubo se realizó cada 60, 61,61 y 59 minutos, para cada muestra respectivamente.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido.

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaban síntesis de muestras y trasvase de las mismas.

La posición de las personas que han portado el muestreador viene determinada en el croquis nº 1, de la siguiente forma: trabajador C1 (purificación de sustancias por cromatografía en sílica gel) “1” y C2 (ensayos biológicos) “2”.

Se entiende que la posición relativa de la persona portadora de la bomba de muestreo en el croquis de posición es la más habitual a lo largo de la jornada.

La toma de muestra la realizamos usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El tubo de carbón activo, una vez conectado a la bomba, previamente calibrada, fue ubicado verticalmente en la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata de la persona.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de cloruro de metileno es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Cloruro de Metileno en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-044/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de ésteres (acetato de etilo) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de esterres I (Acetato de

metilo, Acetato de etilo, Acetato de isobutilo, Acetato de n-butilo) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-023/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de hidrocarburos clorados (cloroformo) es inferior al 7% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de hidrocarburos clorados II (tetracloruro de carbono, cloroformo y clorobenceno) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-042/A99.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de éteres (éter dietílico y metiltercbutiléter) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de éteres I (Éter dietílico, Éter diisopropílico, Éter metil ter-butil) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-047/A01.

En el caso de la Acetona, el método que se ha seguido ha sido el de “Determinación de vapores orgánicos en aire – Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases. MTA/MA-032/A98.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Exposición a cloroformo.*
- *Exposición a acetato de etilo.*
- *Exposición a cloruro de metileno.*
- *Exposición a acetona.*
- *Exposición a éter dietílico.*

7.1. Exposición a cloroformo.

Tabla 125. Exposición al contaminante cloroformo.

Cantidad almacenada: 26 L Cantidad anual utilizada: 50 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de los becarios FPO-MEC, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

–

$$C_{\text{cloroformo}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

No se han detectado concentraciones de cloroformo en las muestras analizadas.

7.2. Exposición a Acetato de etilo.

Tabla 126. Exposición al contaminante acetato de etilo.

Cantidad almacenada: 25 L Cantidad anual utilizada: 100 L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de los becarios FPO-MEC, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

—

$$C_{\text{acetato etilo}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

No se han detectado concentraciones de acetato de etilo en las muestras analizadas.

7.3 .Exposición a Cloruro de Metileno.

Tabla 127. Exposición al contaminante Cloruro de Metileno.

Cantidad almacenada: 28 L Cantidad anual utilizada: 80L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de los becarios FPO-MEC, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

—

$$C_{\text{cloruro metileno}} = 3.231 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{cl-me ponderada 8h}} = 3,231 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA} - \text{ED}: 177 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 6. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

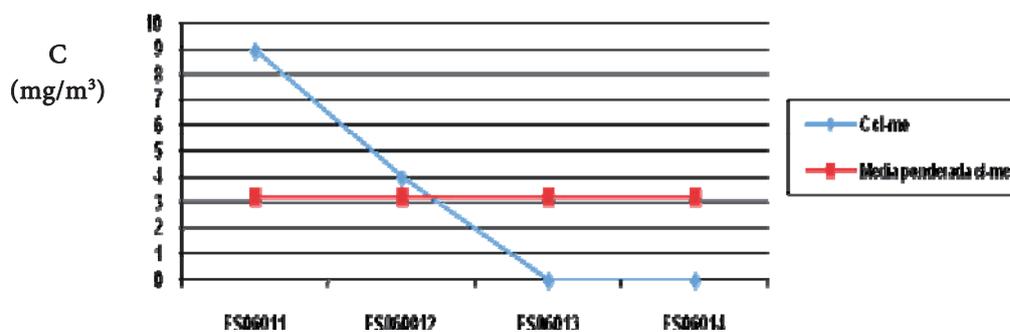


Tabla 128. Resultados obtenidos: cloruro de metileno

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTRO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06011	60	Cloruro Metileno	8,923				
C2	1712	FS06012	61	Cloruro metileno	3,990				
C3	1712	FS06013	61	Cloruro metileno	0	3,231	3,231	177	---
C4	1712	FS06014	59	Cloruro metileno	0				
C5	1712	FS06014	59	Cloruro metileno	0				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.4. Exposición a Acetona.

Tabla 129. Exposición al contaminante.

Cantidad almacenada: 28 L Cantidad anual utilizada: 80L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de profesor una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de los becarios FPO-MEC, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{acetona}} = 0.807 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 0,807 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1210 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 7. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

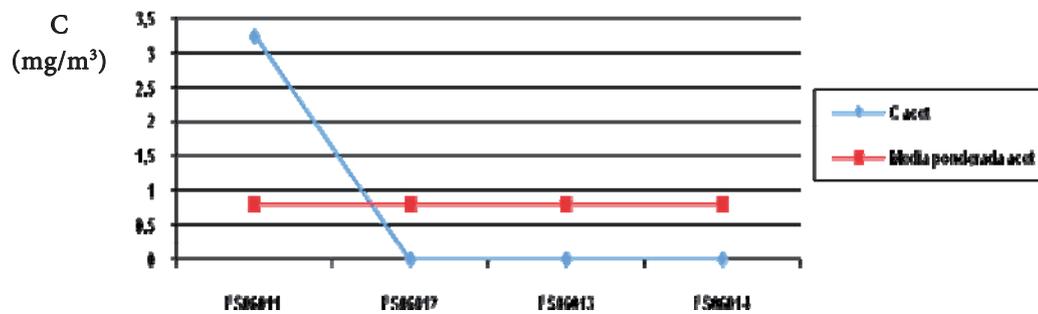


Tabla 130. Resultados obtenidos para la Acetona.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06011	60	Acetona	3,245				
C2	1712	FS06012	61	Acetona	0				
C3	1712	FS06013	61	Acetona	0	0,807	0,807	1210	1810
C4	1712	FS06014	59	Acetona	0				
C5	1712	FS06014	59	Acetona	0				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.4. Exposición a Éter Dietílico.

Tabla 131. Exposición al contaminante Éter Dietílico.

Cantidad almacenada: 78 L Cantidad anual utilizada: 200L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante una año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de los becarios FPO-MEC, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

— —

$$C_{\text{éter etílico}} = 4.241 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{ed ponderada 8h}} = 4,241 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1230 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 8. Evolución de la concentración del contaminante según muestra tomada.

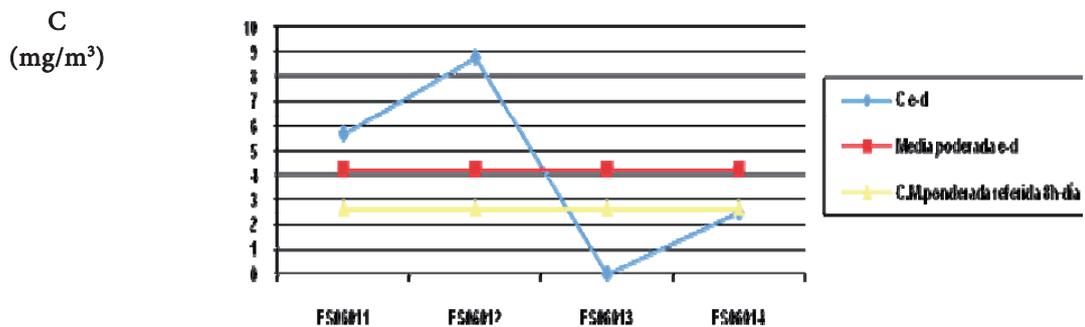


Tabla 132. Resultados obtenidos: éter dietílico.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED (mg/m ³)	VLA-EC (mg/m ³)
C1	1712	FS06011	60	Éter Dietílico	5,678	4,241	4,241	1230	1540
C2	1712	FS06012	61	Éter Dietílico	8,779				
C3	1712	FS06013	61	Éter Dietílico	0				
C4	1712	FS06014	59	Éter Dietílico	2,475				
C5	1712	FS06014	59	Éter Dietílico	2,475				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Acetona, Cloruro de metileno, Éter dietílico y Cloroformo.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetato de etilo:	1460 mg/m ³	-
Acetona:	1210 mg/m ³	1810 mg/m ³
Cloruro de metileno:	177 mg/m ³	-
Éter dietílico	1230 mg/m ³	1540 mg/m ³
Cloroformo	50 mg/m ³	-

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativos dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a cloruro de metileno comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0183 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetona comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0,0006 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a cloroformo comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetato de etilo comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a éter dietílico comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0034 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a la mezcla de agentes químicos es de $I_t = 0,0223$. inferior a 1, límite de la mezcla.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido ha sido $I_t (\%) = 1,39\%$, menor que el 25%; por lo tanto la siguiente medición se realizará al cabo de 64 semanas.

Tabla 133. Tabla de resultados de exposición a todos los contaminantes.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (mg/m³) (1)				Concentración media ponderada en el tiempo (mg/m³) (2)	Concentración referida a 8 horas/día (mg/m³) (3)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (mg/m³)	I (4)	It (5)
	FS06011	FS06012	FS06013	FS06014						
Acetato Etilo	0	0	0	0	0	0	1460	----	0	0,0223
Acetona	3,245	0	0	0	0,807	0,807	1210	1810	0,0006	
Cloroformo	0	0	0	0	0	0			0	
Cloruro de Metileno	8,923	3,990	0	0	3,231	3,231	177	----	0,0183	
Éter dietílico	5,678	8,779	0	2,475	4,241	4,241	1230	1540	0,0034	

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra:

$$Ci = \frac{\text{Peso}_i}{\text{Volumen}_i} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(2) (Cti) Concentración media ponderada en el tiempo:

$$Cti = \frac{\sum Ci \times Ti}{\sum Ti} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(3) (EDI) Concentración referida a 8 horas/día:

$$EDI = Ct_i \times \frac{T_i}{8} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(4) (It) Índice de Exposición:

$$It_i = \frac{EDI_i}{VLA-EDI_i}$$

(5) (Iti) Índice de exposición Global:

$$It_i = \sum EDI_i / VLA-EDI_i$$

LABORATORIO FCQO3

1. Identificación.

Biología de Hongos y Química de productos naturales

2. Descripción de los puestos evaluados.

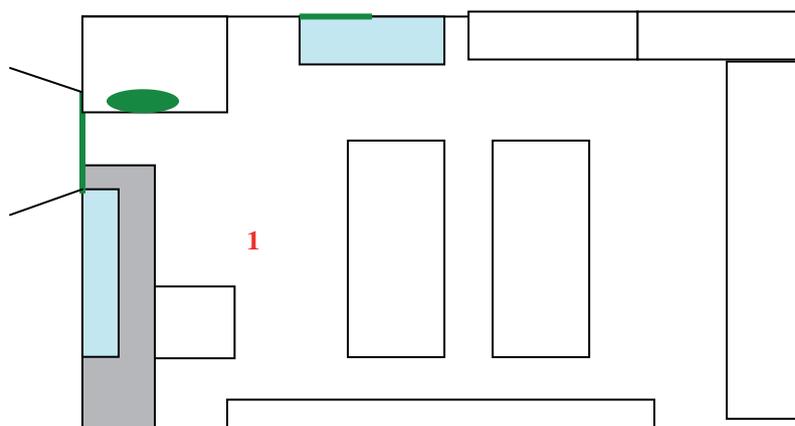
Puesto de evaluado: Personal docente e investigador, Personal Técnico de Laboratorio, Estudiantes de colaboración.

La descripción principal del puesto consiste en separación cromatográfica con acetato de etilo y n-hexano. Utilizan un laboratorio donde manejan diferente instrumentación de análisis químico, así como procesos y operaciones básicas de laboratorio, tales como: filtrado, limpieza, destilación, dilución y análisis químico de sustancias.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Sobre las mesas de trabajo se llevan a cabo aquellas tareas que no requieren el uso de productos cuyos vapores puedan ser nocivos; cuando se trabaja con éstos, se suele realizar de forma habitual dentro de la vitrina de gases.

4. Principales fuentes de emisión.



Croquis deposición nº 3

En el croquis de posición nº 3, la mesa en donde se trabaja se ha coloreado de oscuro, y las vitrinas de gases en donde se realizan tareas con productos que desprenden vapores nocivos, están coloreadas de azul.

5. Sistema de ventilación existente.

Las líneas verdes del croquis nº 3 indican la posición de rendijas y vitrinas de gases... Este laboratorio dispone de entradas y salidas de aire a través de la puerta de entrada al mismo que suele estar abierta de forma permanente durante la jornada de trabajo; dos ventanas que permanecen con una rendija abierta, y las campanas, las cuales suelen estar en funcionamiento aunque no se esté trabajando con ellas.

En el croquis nº 3 figura un número rotulado en rojo que corresponde al punto donde se ubica el trabajador que ha portado el muestreador: C1 (separación cromatográfica con acetato de etilo y n-hexano).

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

El muestreo de cloruro de metileno, acetona, n-hexano y acetato de etilo se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995.

6.1. Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.20018 lpm, previamente calibrada, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El cambio de tubo se realizó cada 41, 60, 60 y 45 minutos, para cada muestra respectivamente.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido.

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaba la separación cromatográfica y el manejo de la diferente instrumentación analítica.

La posición de la trabajadora que ha portado el muestreador viene determinada en el croquis como 1.

Se entiende que la posición relativa del trabajador portador de la bomba de muestreo es la más habitual durante la jornada de trabajo.

La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El tubo de carbón activo, una vez conectado a la bomba, lo ubicamos verticalmente en la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata del trabajador.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de cloruro de metileno es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Cloruro de Metileno en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-044/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de ésteres (acetato de etilo) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de esteres I (Acetato de

metilo, Acetato de etilo, Acetato de isobutilo, Acetato de n-butilo) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-023/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de hidrocarburos alifáticos (n-hexano) es inferior al 4% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Hidrocarburos Alifáticos (n-Hexano, n-Heptano, n-Octano, n-Nonano) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-029/A92.

En el caso de la Acetona, el método que se ha seguido ha sido el de “Determinación de vapores orgánicos en aire – Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases.MTA/MA-032/A98.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Exposición a n-Hexano.*
- *Exposición a acetato de etilo.*
- *Exposición a cloruro de metileno.*
- *Exposición a acetona.*

7.1. Exposición a n-Hexano.

Tabla 134. Exposición al contaminante n-Hexano.

Cantidad almacenada: 250 L Cantidad anual utilizada: 300L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de la beca MEC y alumnado colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

—
 $C_{n\text{-hexano}} = 25,934 \text{ mg/m}^3$ $C_{n\text{-h ponderada } 8\text{h}} = 16,208 \text{ mg/m}^3$

VLA – ED: 1790 mg/m^3

Gráfico nº 9. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada

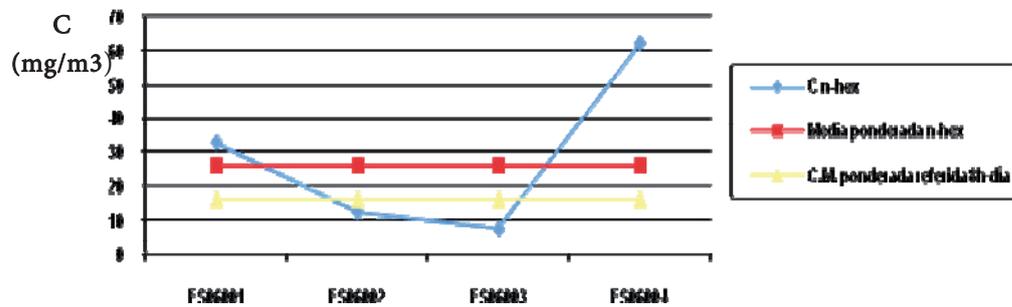


Tabla 135. Resultados obtenidos: n-Hexano.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA- ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06001	41	n-Hexano	32,897	25,934	25,934	1790	
C2	1712	FS06002	60	n-Hexano	12,488				
C3	1712	FS06003	60	n-Hexano	7,493				
C4	1712	FS06004	45	n-Hexano	62,166				
C5	1712	FS06004	45	n-Hexano	62,166				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.2. Exposición a Acetato de etilo.

Tabla 136. Exposición al contaminante Acetato de Etilo.

Cantidad almacenada: 75 L Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso de los becarios FPO-MEC, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$C_{\text{acetil}} = 4,364 \text{ mg/m}^3$

$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 4,364 \text{ mg/m}^3$

VLA – ED: 1460 mg/m^3

Gráfico nº 10. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

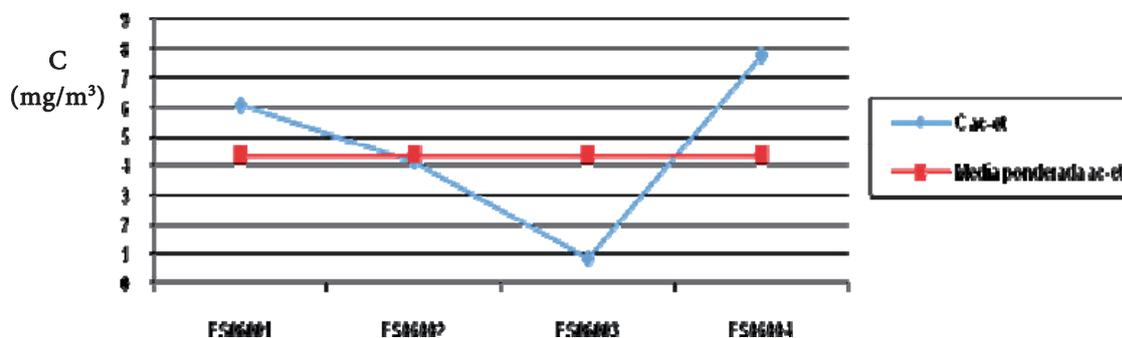


Tabla 137. Resultados obtenidos: acetato de etilo

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06001	41	Acetato etilo	6,092	4,364	4,364	1460	----
C2	1712	FS06002	60	"	4,162				
C3	1712	FS06003	60	"	0,832				
C4	1712	FS06004	45	"	7,77				
C5	1712	FS06004	45	"	7,77				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.3. Exposición a Cloruro de Metileno.

Tabla 138. Exposición al contaminante Cloruro de metileno.

Cantidad almacenada: 225L	
Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación, en el caso del becario MEC y alumno colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{cloruro metileno}} = 55,046 \text{ mg/m}^3 \quad C_{\text{cl-me ponderada 8h}} = 55,046 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 177 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 11. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

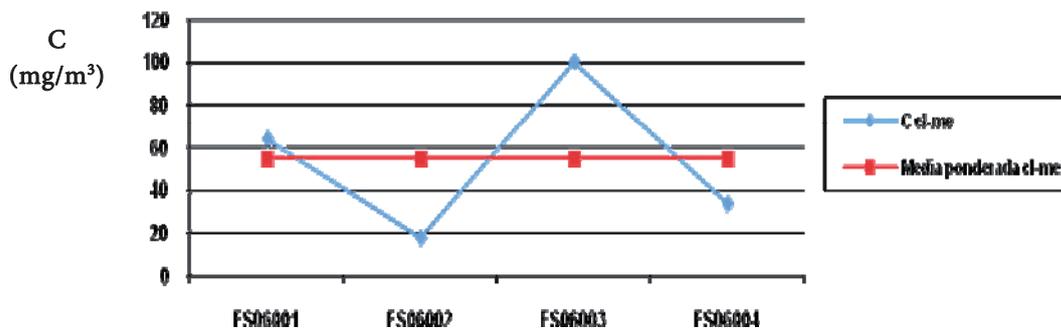


Tabla 139. Resultados obtenidos: cloruro de metileno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06001	41	Cloruro Metileno	64,576				
C2	1712	FS06002	60	Cloruro metileno	18,316				
C3	1712	FS06003	60	Cloruro metileno	100,742	55,046	55,046	177	---
C4	1712	FS06004	45	Cloruro metileno	34,413				
C5	1712	FS06004	45	Cloruro metileno	34,413				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.4. Exposición a Acetona.

Tabla 140. Exposición al contaminante acetona.

Cantidad almacenada: 225L Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070
C5	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso del becario-MEC y alumno colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{acetona}} = 2,182 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 1,363 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1210 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 12. Evolución de la concentración del contaminante según la muestra tomada.

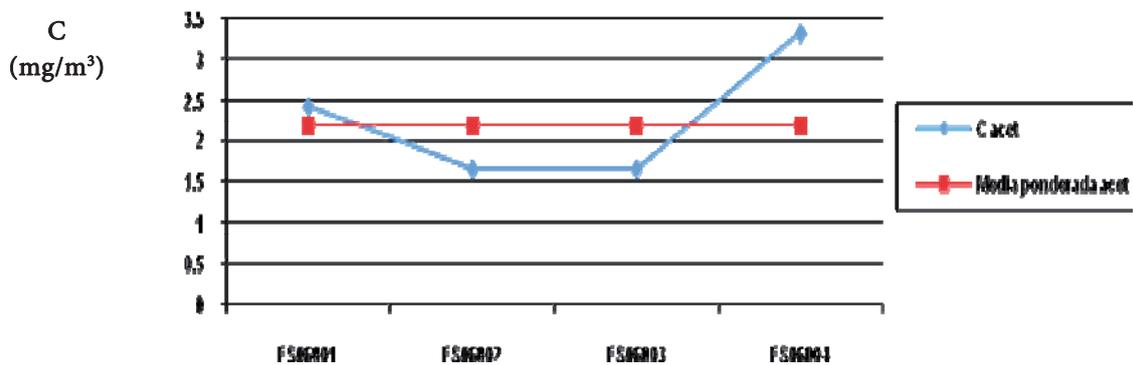


Tabla 141. Resultados obtenidos: acetona.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06001	41	Acetona	2,436	2,182	2,182	1210	1810
C2	1712	FS06002	60	Acetona	1,665				
C3	1712	FS06003	60	Acetona	1,665				
C4	1712	FS06004	45	Acetona	3,330				
C5	1712	FS06004	45	Acetona	3,330				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Acetona, Cloruro de metileno, Éter dietílico y Cloroformo.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetato de etilo:	1460 mg/m ³	-
Acetona:	1210 mg/m ³	1810 mg/m ³
Cloruro de metileno:	177 mg/m ³	-
n-Hexano	1790 mg/m ³	3580 mg/m ³

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria.

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativo dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a cloruro de metileno comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,311 ($I \leq 1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetona comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0,0018 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a n-Hexano comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,1449 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetato de etilo comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0030 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La mezcla de agentes químicos ambientales es de $I_t = 0,4607$ No se supera el valor límite de la mezcla.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido ha sido $25\% < I_t = 46,07\% < 50\%$; por lo tanto la siguiente medición se realizará al cabo de 32 semanas.

Tabla 142. Cálculos.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (1)				Concentración media ponderada en el tiempo (mg/m³) (2)	Concentración referida a 8 horas/día (mg/m³) (3)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (mg/m³)	I (4)	It (5)
	FS06001	FS06002	FS06003	FS06004						
Acetato Etilo	6,092	0,832	4,162	7,770	4,364	4,364	1460	----	0,0030	0,4607
Acetona	2,436	1,665	1,665	3,330	2,182	2,182	1210	1810	0,0018	
Cloruro de Metileno	64,576	100,742	18,316	34,413	55,046	55,046	177	----	0,311	
n- Hexano	32,897	7,493	12,488	62,166	25,934	25,934	179	----	0,1449	

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra:

$$Ci = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \text{ (mg/m}^3 \text{)}$$

(3) (EDI) Concentración referida a 8 horas/día:

$$EDI = \frac{Ci \times T_i}{8} \text{ (mg/m}^3 \text{)}$$

(5) (Iti) Índice de exposición Global:

$$Iti = \frac{\sum EDi}{\sum VLA-EDI}$$

(2) (Cti) Concentración media ponderada en el tiempo:

$$Cti = \frac{\sum Ci \times Ti}{\sum Ti} \text{ (mg/m}^3 \text{)}$$

(4) (It) Índice de Exposición:

$$It = \frac{EDI}{VLA-EDI}$$

LABORATORIO FCQO4

1. Identificación.

Actividad: Laboratorio de productos naturales y síntesis en química orgánica.

2. Descripción de los puestos evaluados.

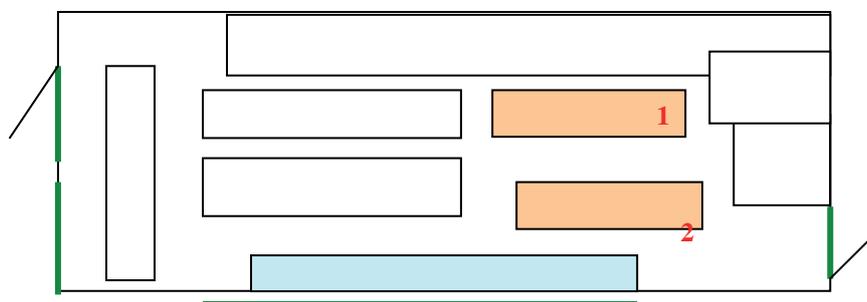
Puesto de trabajo evaluado: Personal docente e investigador. Personas portadoras del muestreador: C1 y C2.

La descripción principal del puesto de trabajo consiste en extracción con éter, reducción hidruro aluminio y litio en THF, procesamiento de una reacción con éter y reacción con HMPA etilenglicol e hidruro sódico; para ello utilizan un laboratorio donde manejan diferente instrumentación de análisis químico, así como procesos y operaciones básicas de laboratorio, tales como: filtrado, limpieza, destilación, dilución y análisis químico de sustancias.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Sobre las mesas de trabajo se llevan a cabo aquellas tareas que no requieren el uso de productos cuyos vapores puedan ser nocivos; cuando se trabaja con éstos, sólo a veces, se realiza en la vitrina de gases.

4. Principales fuentes de emisión.



Croquis de posición n° 4

En el croquis de posición nº 4, la mesa en donde se trabaja se ha coloreado de naranja, y las vitrinas de gases en donde se realizan tareas con productos que desprenden vapores nocivos, están coloreadas de azul.

5. Sistema de ventilación existente.

Las líneas verdes indican los focos de ventilación. Este laboratorio cuenta con ventilación natural a través de la puerta de entrada al mismo y la salida de emergencia (que da al exterior) que suelen estar abiertas de forma permanente durante la jornada de trabajo; dos ventanas que permanecen con una rendija abierta, y las campanas, las cuales suelen estar en funcionamiento aunque no se esté trabajando con ellas (tres de cuatro, ya que una está averiada).

En el croquis nº 4 figuran unos números en rojo que corresponden a los puntos donde se ubica el personal que ha portado el muestreador: C1 (extracción con éter) y C2 (reducción hidruro aluminio y litio en THF, procesamiento de una reacción con éter y reacción con HMPA etilenglicol e hidruro sódico).

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

El muestreo de cloruro de metileno, acetona, n-hexano y metiltercbutiléter se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995.

6.1 Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.2061 lpm, previamente calibrada, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El cambio de tubo se realizó cada 60, 62, 59 y 63 minutos, para cada muestra respectivamente.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido.

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaban la extracción con éter y reducción hidruro aluminio y litio en THF.

La posición de la trabajadora que ha portado el muestreador viene determinada en el croquis, de la siguiente forma: **1** -Persona C1- (extracción con éter), **2** - Persona C2- (reducción hidruro aluminio y litio en THF, procesamiento de una reacción con éter y reacción con HMPA etilenglicol e hidruro sódico).

Se entiende que la posición relativa del trabajador portador de la bomba de muestreo es la habitual durante la jornada de trabajo.

La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El tubo de carbón activo, una vez conectado a la bomba, fue ubicado verticalmente en la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata del trabajador.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de cloruro de metileno es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Cloruro de Metileno en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-044/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de éteres (metilitercbutiléter) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de éteres I (Éter dietílico,

Éter diisopropílico, Éter metil ter-butil) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-047/A01.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de hidrocarburos alifáticos (n-hexano) es inferior al 4% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Hidrocarburos Alifáticos (n-Hexano, n-Heptano, n-Octano, n-Nonano) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-029/A92.

En el caso de la Acetona, el método que se ha seguido ha sido el de “Determinación de vapores orgánicos en aire – Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases.MTA/MA-032/A98.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Exposición a n-hexano.*
- *Exposición a metiltercbutiléter.*
- *Exposición a cloruro de metileno.*
- *Exposición a acetona.*

7.1. Exposición a n-Hexano.

Tabla 143. Exposición al contaminante n-Hexano.

Cantidad almacenada: 35 L Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en los demás casos, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

—
 $C_{n\text{-hexano}} = 3,778 \text{ mg/m}^3$

—
 $C_{n\text{-h ponderada } 8h} = 2,3612 \text{ mg/m}^3$

VLA – ED: 1790 mg/m³

Gráfico nº 13. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

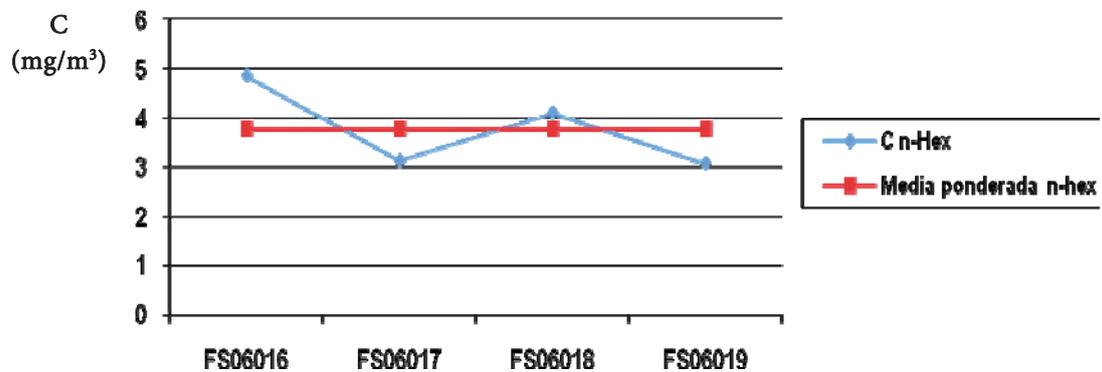


Tabla 144. Resultados obtenidos: n-Hexano.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06016	60	n-Hexano	4,854	3,778	3,778	1790	3580
C2	1712	FS06017	62	n-Hexano	3,130				
C3	1712	FS06018	59	n-Hexano	4,111				
C4	1712	FS06019	63	n-Hexano	3,080				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.2. Exposición a MetilTerbutil éter.

Tabla 145. Exposición al contaminante MetilTerbutilEter.

Cantidad almacenada: 50 L Cantidad anual utilizada: 80L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en los demás casos, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En ambos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{metterbutil}} = 29,041 \text{ mg/m}^3 \quad C_{\text{mtbe ponderada 8h}} = 29,041 \text{ mg/m}^3$$

VLA – ED: 147 mg/m³

Gráfico nº 14: Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada

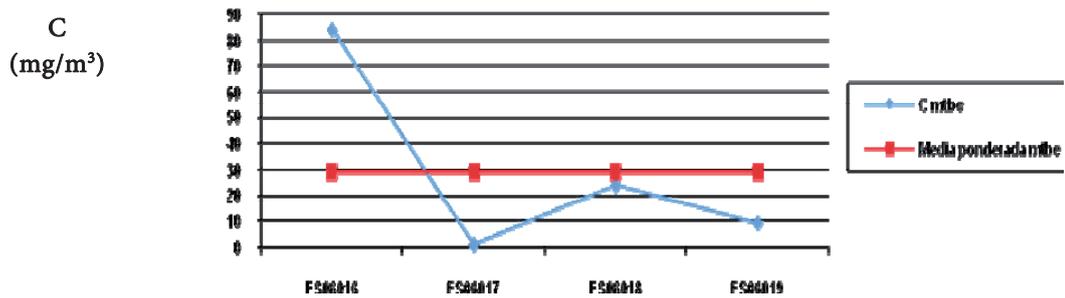


Tabla 146. Resultados obtenidos: metil tercbutiléter.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA- ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1070	FS06016	60	Metil tercbutiléter	84,142	29,041	29,041	147	----
C2	1070	FS06017	62	Metil tercbutiléte	0,782				
C3	"	FS06018	59	Metil tercbutiléte	23,848				
C4	"	FS06019	63	Metil tercbutiléte	9,241				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.1. Exposición a Cloruro de Metileno.

Tabla 147. Exposición al contaminante Cloruro de Metileno.

Cantidad almacenada: 51 L Cantidad anual utilizada: 125L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de profesor una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en los demás casos calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{cloruro metileno}} = 3,380 \text{ mg/m}^3 \quad C_{\text{cl-me ponderada 8h}} = 3,380 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 177 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 15. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

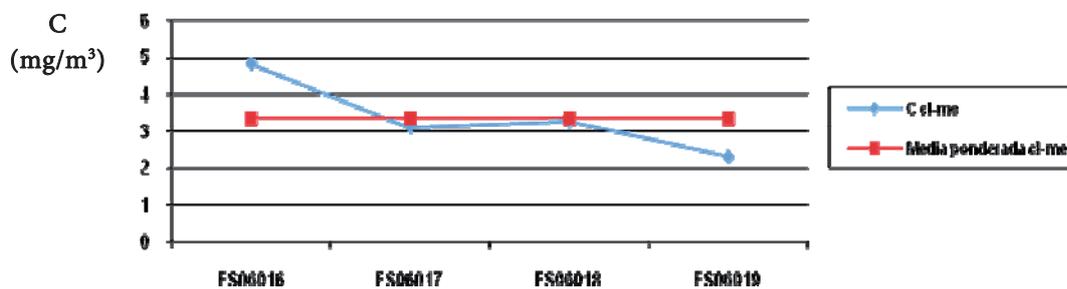


Tabla 148. Resultados obtenidos: cloruro de metileno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06016	60	Cloruro Metileno	4,854	3,380	3,380	177	---
C2	1712	FS06017	62	Cloruro metileno	3,130				
C3	1712	FS06018	59	Cloruro metileno	3,289				
C4	1712	FS06019	63	Cloruro metileno	2,310				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.4. *Personas que tienen exposición a Acetona.*

Tabla 149. Exposición al contaminante Acetona.

Cantidad almacenada: 80 L Cantidad anual utilizada: 200L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en los demás casos, calculando en base a una jornada de 5 horas diarias. En todos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{acetona}} = 13,323 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 13.323 \text{ mg/m}^3$$

VLA – ED: 1210 mg/m³

Gráfico nº 16: Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

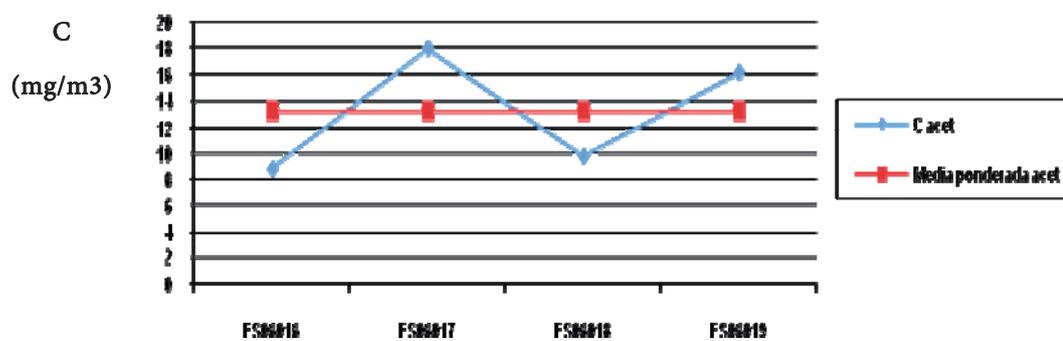


Tabla 150. Resultados obtenidos: acetona.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06016	60	Acetona	8,899	13,323	13,323	1210	1810
C2	1712	FS06017	62	Acetona	17,999				
C3	1712	FS06018	59	Acetona	9,868				
C4	1712	FS06019	63	Acetona	16,173				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Acetona, Cloruro de metileno, Éter dietílico y Cloroformo.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetona:	1210 mg/m ³	1810 mg/m ³
Cloruro de metileno:	177 mg/m ³	-
n-Hexano	1790 mg/m ³	3580 mg/m ³
Metiltercbutiléter	147 mg/m ³	-

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativos dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a cloruro de metileno comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0119 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetona comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0,0068 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a n-hexano comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0131 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a metiltercbutiléter comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,1234 ($I \leq 1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a la mezcla de agentes químicos: $I_t = 0,0155$, que es menor que 1. No se supera el valor límite ambiental de la mezcla

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido ha sido $I_t (\%) = 1,55\%$, menor que el 25%; por lo tanto la siguiente medición se realizará al cabo de 64 semanas.

Tabla 151. Cálculos.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (mg/m³) (1)			Concentración media ponderada en el tiempo (mg/m³) (2)	Concentración referida a 8 horas/día (mg/m³) (3)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (mg/m³)	I (4)	It (5)
	FS06016	FS06017	FS06018						
Acetona	8,899	17,999	9,868	13,323	13,323	1210	1810	0,011	0,2487
Cloruro de Metileno	4,854	3,130	3,289	3,380	3,380	177	----	0,019	
Metil Tercbutiléter	84,142	0,782	23,848	29,041	29,041	147	----	0,1976	
n-Hexano	4,854	3,130	4,111	3,778	3,778	1790	3580	0,021	

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra:

$$Ci = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \quad (\text{mg/m}^3)$$

(3) (EDI) Concentración referida a 8 horas/día:

$$EDI = Ct \times \frac{Ti}{8} \quad (\text{mg/m}^3)$$

(5) (It) Índice de exposición Global:

$$It = \sum \frac{EDI}{VLA-EDI}$$

(2) (Cti) Concentración media ponderada en el tiempo:

$$Cti = \frac{\sum Ci \times Ti}{\sum Ti} \quad (\text{mg/m}^3)$$

(4) (Ii) Índice de Exposición:

$$Ii = \frac{EDI}{VLA-EDI}$$

LABORATORIO 5FCB

1. Identificación.

Bioquímica y Biología Molecular I. Investigación con Biomembranas.

2. Descripción de los puestos evaluados.

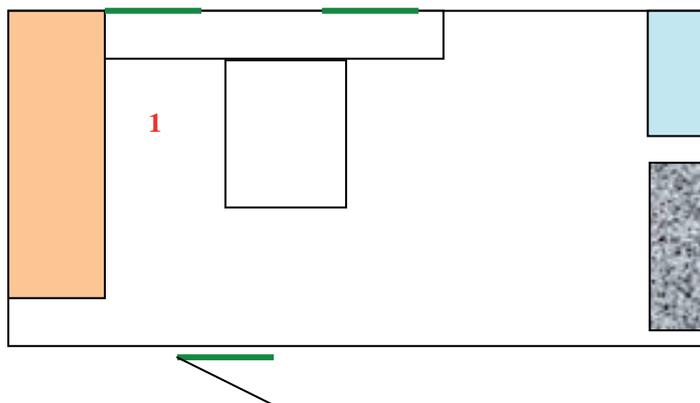
Puesto de trabajo evaluado: Personal docente e investigador. Persona portadora del muestreador: C1

La descripción principal del puesto de trabajo consiste en la realización del ensayo Western Alot (SDS-PAGE); para ello utilizan un laboratorio donde manejan diferente instrumentación de química analítica así como procesos y operaciones básicas de laboratorio, tales como filtrado, limpieza, destilación, dilución y análisis químico de sustancias.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Sobre las mesas de trabajo se llevan a cabo aquellas tareas que no requieren el uso de productos cuyos vapores puedan ser nocivos; cuando se trabaja con éstos, en ciertas ocasiones se realiza dentro de la vitrina de gases.

4. Principales fuentes de emisión.



Croquis de posición nº 4

En el croquis de posición nº 4, la mesa en donde se trabaja se ha coloreado de naranja, y la vitrina de gases en donde se realizan tareas con productos que desprenden vapores peligrosos, está coloreada de azul.

5. Sistema de ventilación existente.

Las líneas verdes indican los entradas y salidas de aire. Este laboratorio cuenta con ventilación natural al través de la puerta de entrada al mismo que suele estar abierta de forma permanente durante la jornada de trabajo; dos ventanas que permanecen con una rendija abierta, y una vitrina de extracción de gases, que en ocasiones se pone en funcionamiento aunque no se esté trabajando con ellas.

En el croquis nº 4 figura un número en rojo que corresponde al punto donde se ubica la persona que ha portado el muestreador: C1, que es quien realiza el ensayo Western Alot (SDS-PAGE)).

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

Para el muestreo acetona y n-hexano, la evaluación se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995.

6.1 Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.20135 lpm, previamente calibrada, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El cambio de tubo se realizó cada 59, 58, 60 y 43 minutos, para cada muestra respectivamente.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido.

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaba el ensayo Western Alot (SDS-PAGE).

La posición de la persona que ha portado el muestreador viene determinada en el croquis con el número 1.

Se entiende que la posición relativa de la persona portadora de la bomba de muestreo es la habitual durante el desempeño de su trabajo.

La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado al método correspondiente y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El tubo de carbón, una vez conectado a la bomba fue ubicado verticalmente en la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata del trabajador.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de hidrocarburos alifáticos (n-hexano) es inferior al 4% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Hidrocarburos Alifáticos (n-Hexano, n-Heptano, n-Octano, n-Nonano) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-029/A92.

En el caso de la Acetona, el método que se ha seguido ha sido el de “Determinación de vapores orgánicos en aire – Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases.MTA/MA-032/A98.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Exposición a n-hexano.*
- *Exposición a acetona.*

7.1. Exposición a n-Hexano.

Tabla 152. Exposición al contaminante n-Hexano.

Cantidad almacenada: 7,5 L	
Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1284
C5	1070
C6	1070

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso del becario y alumno colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$\bar{C}_{n\text{-hexano}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

$$\bar{C}_{n\text{-h ponderada 8h}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1790 \text{ mg/m}^3$$

No se ha detectado exposición a n-Hexano.

Gráfico nº 17. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

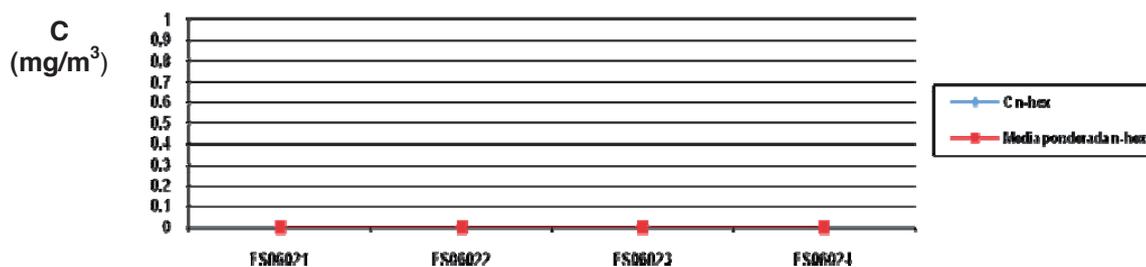


Tabla 153. Resultados obtenidos: n-Hexano.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m³) (**)	VLA-ED mg/m³	VLA-EC mg/m³
C1	1712	FS06021	59	n-Hexano	0				
C2	1712	FS06022	58	n-Hexano	0				
C3	1712	FS06023	60	n-Hexano	0				
C4	1712	FS06023	60	n-Hexano	0	0	0	1790	3580
C5	1712	FS06024	43	n-Hexano	0				
C6	1712	FS06024	43	n-Hexano	0				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración.

7.2. Exposición a Acetona.

Tabla 154. Exposición al contaminante Acetona.

Cantidad almacenada: 6 L Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1284
C5	1070
C6	1070

(*) Datos de exposición referidos por las personas implicadas; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de Incorporación y en el caso del becario y alumno colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

—

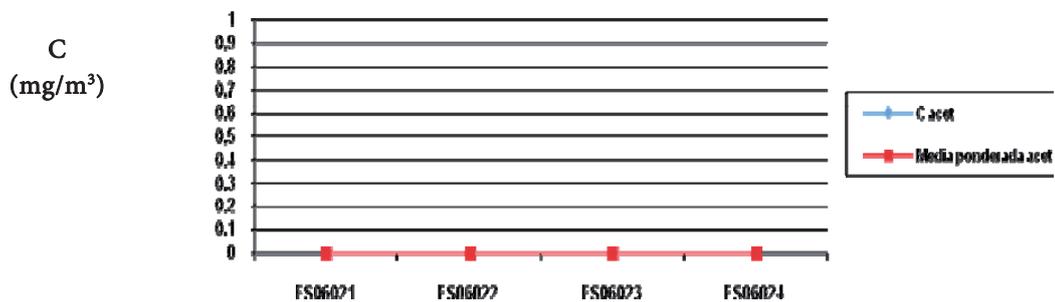
—

$$C_{\text{acetona}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1210 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 18: Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada



No se han detectado concentraciones de acetona en las muestras analizadas.

Tabla 155. Resultados obtenidos: acetona.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREO	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06021	59	Acetona	0				
C2	1712	FS06022	58	Acetona	0				
C3	1712	FS06023	60	Acetona	0				
C4	1712	FS06023	60	Acetona	0	0	0	1210	1810
C5	1712	FS06024	43	Acetona	0				
C6	1712	FS06024	43	Acetona	0				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Acetona, Cloruro de metileno, Éter dietílico y Cloroformo.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetona:	1210 mg/m ³	1810 mg/m ³
n-Hexano	1790 mg/m ³	3580 mg/m ³

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativos dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a acetona comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a n-hexano comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- Al no detectarse agentes químicos ambientales, $I_t = 0$.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido ha sido $I_t = 0\%$, menor que el 25%; por lo tanto la siguiente medición se realizará al cabo de 64 semanas.

Tabla 156. Cálculos.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (1)				Concentración media ponderada en el tiempo (2)	Concentración referida a 8 horas/día (3)	VLA-ED (mg/m ³)	VLA-EC (mg/m ³)	I (4)	It (5)
	FS06021	FS06022	FS06023	FS06024						
Acetona	0	0	0	0	0	0	1210	1810	0	0
n-Hexano	0	0	0	0	0	0	179	----	0	0

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra:

$$C_i = \frac{\text{Peso}_i}{\text{Volumen}_i} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(3) (EDI) Concentración referida a 8 horas/día:

$$EDI = C_i \times \frac{T_i}{8} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(5) (Iti) Índice de exposición Global:

$$It_i = \sum \frac{EDI_i}{VLA-EDI_i}$$

(2) (Cti) Concentración media ponderada en el tiempo:

$$C_{ti} = \frac{\sum C_i \times T_i}{\sum T_i} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(4) (Ii) Índice de Exposición:

$$I_i = \frac{EDI_i}{VLA-EDI_i}$$

LABORATORIO FFQ6

1. Identificación.

Actividad: Investigación en Química Farmacéutica

2. Descripción de los puestos evaluados.

Puesto de trabajo evaluado: Personal docente e investigador.

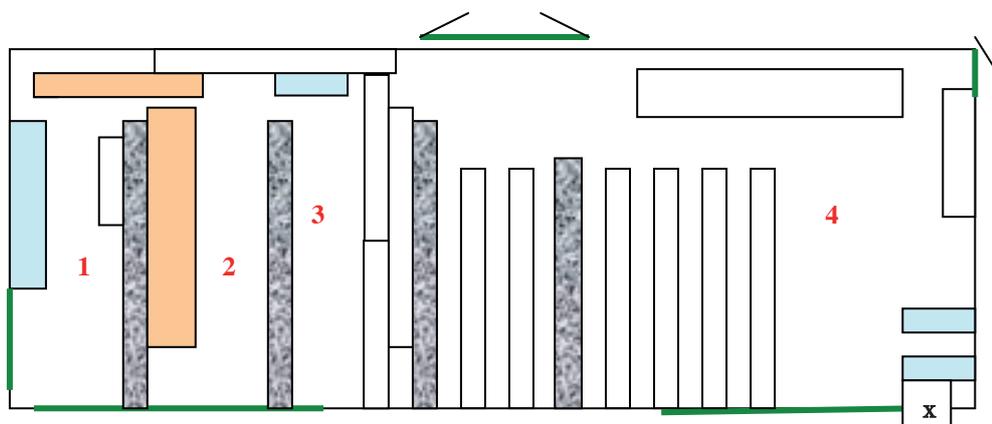
Personas portadoras del muestreador: C1, C2, C3 C4

La descripción principal del puesto de trabajo consiste en purificación por cromatografía en campana, filtración de agua y recargo de disolventes, reacciones en vitrina, concentración de disolventes líquidos; para ello utilizan un laboratorio donde manejan diferente instrumentación de química analítica así como procesos y operaciones básicas de laboratorio tales, como filtrado, limpieza, destilación, dilución y análisis químico de sustancias.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Sobre las mesas de trabajo se llevan a cabo aquellas tareas que no requieren el uso de productos cuyos vapores puedan ser nocivos; cuando se trabaja con éstos, se suele realizar de forma habitual dentro de la vitrina de gases.

4. Principales fuentes de emisión.



Croquis de posición n° 6

En el croquis de posición, las mesas en donde se trabaja se han coloreado de naranja, y las vitrinas de gases en donde se realizan tareas con productos que desprenden vapores peligrosos, están coloreadas de azul.

5. Sistema de ventilación existente.

Las líneas verdes indican los focos de ventilación. Este laboratorio se ventila de manera natural a través de la puerta de entrada al mismo que suele estar abierta de forma permanente durante la jornada de trabajo; las ventanas suelen permanecer con una rendija abierta, y las campanas, las cuales suelen estar en funcionamiento aunque no se esté trabajando con ellas; también dispone de un sistema de ventilación forzada con extracción al exterior señalado con una **X** en el croquis.

En el croquis figuran una serie de números consecutivos rotulados en rojo, que corresponden a los puntos de situación de las personas que han portado el muestreador: C1 (purificación por cromatografía en campana), C2 (filtración de agua y recargo de disolventes), C3 (reacciones en vitrina) y C4 (purificación de productos en campana).

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

Para el muestreo de cloruro de metileno, acetona, n-hexano y acetato de etilo, la evaluación se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995.

6.1 Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.20365 lpm, previamente calibrada, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El cambio de tubo se realizó cada 37, 32, 44, 40, 35 y 40 minutos, para cada muestra respectivamente.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaba la purificación por cromatografía en campana, filtración de agua y recargo de disolventes, reacciones en vitrina y concentración de disolventes líquidos.

La posición de la trabajadora que ha portado el muestreador viene determinada en el croquis, de la siguiente forma: **1 C1** (purificación por cromatografía en campana), **2C2** (filtración de agua y recargo de disolventes), **3 C3** (reacciones en vitrina), **4 C4** (purificación de productos en campana).

Se entiende que la posición relativa de la persona portadora de la bomba de muestreo es la habitual durante el desarrollo de los trabajos.

La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El tubo de carbón, una vez conectado a la bomba, fue ubicado verticalmente en la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata del trabajador.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de cloruro de metileno es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Cloruro de Metileno en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-044/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de ésteres (acetato de etilo) es inferior al 5% en todo el

intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de esteres I (Acetato de metilo, Acetato de etilo, Acetato de isobutilo, Acetato de n-butilo) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-023/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de hidrocarburos alifáticos (n-hexano) es inferior al 4% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Hidrocarburos Alifáticos (n-Hexano, n-Heptano, n-Octano, n-Nonano) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-029/A92.

En el caso de la Acetona, el método que se ha seguido ha sido el de “Determinación de vapores orgánicos en aire – Método de adsorción en carbón activo/cromatografía de gases.MTA/MA-032/A98.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Exposición a n-Hexano.*
- *Exposición a acetato de etilo.*
- *Exposición a cloruro de metileno.*
- *Exposición a acetona.*

7.1. Exposición a n-Hexano.

Tabla 157. Exposición al contaminante n-Hexano.

Cantidad almacenada: 7,5 L Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1284
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por las personas implicadas; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de colaboración y en el caso de personal con beca y alumnado colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto de vacaciones.

—
 $C_{n\text{-hexano}} = 3,154 \text{ mg/m}^3$

—
 $C_{n\text{-h ponderada } 8h} = 3,145 \text{ mg/m}^3$

VLA – ED: 179 mg/m^3

Gráfico nº 19. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

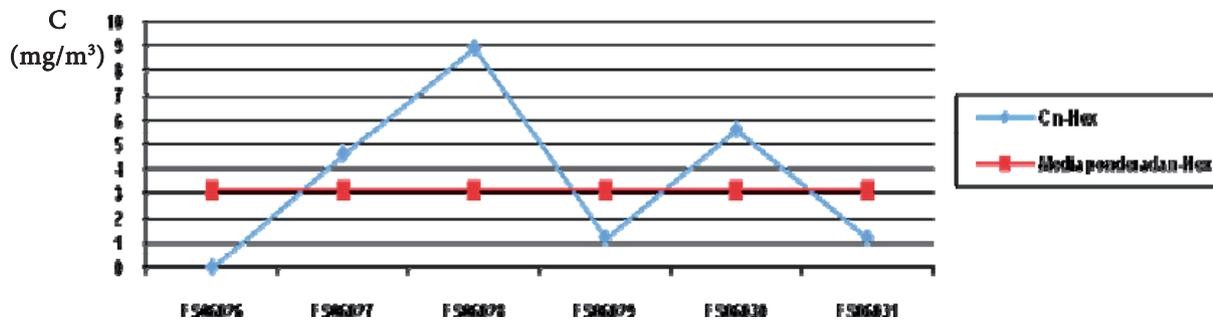


Tabla 158. Resultados obtenidos: n-Hexano.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADO R	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06026	37	n-Hexano	0				
C2	1712	FS06027	32	n-Hexano	4,603				
C3	1712	FS06027	32	n-Hexano	4,603				
C4	1712	FS06028	44	n-Hexano	8,927				
C5	1712	FS06029	40	n-Hexano	1,227				
C6	1712	FS06030	35	n-Hexano	5,611				
C7	1712	FS06031	40	n-Hexano	1,227	3,154	3,134	1790	3580

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

7.2. Personas con exposición a acetato de etilo.

Tabla 159. Exposición al contaminante acetato de etilo.

Cantidad almacenada: 27 L Cantidad anual utilizada: 150L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1284
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por las personas implicadas; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de colaboración y en el caso de personal con beca y alumnado colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto de vacaciones.

$$C_{\text{acetato etilo}} = 52,33 \text{ mg/m}^3 \quad C_{\text{ac et ponderada 8h}} = 52,33 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1460 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 20. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

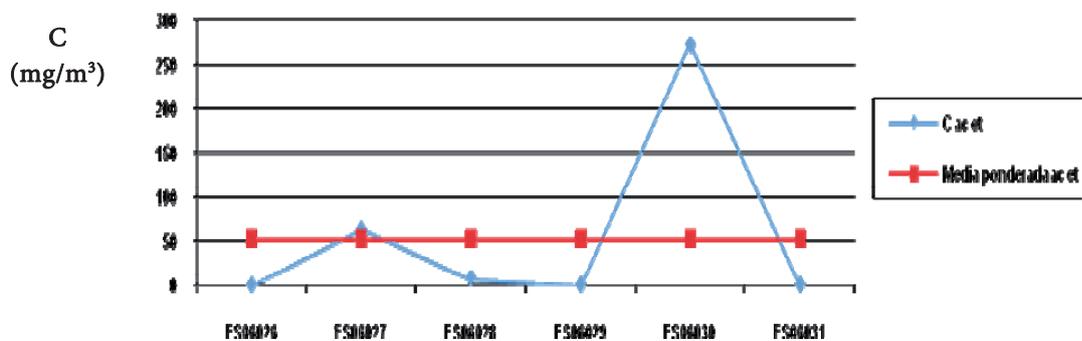


Tabla 160. Resultados obtenidos: acetato de etilo.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREO	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06026	37	Acetato de etilo	0				
C2	1712	FS06027	32	Acetato de etilo	62,91				
C3	1712	FS06027	32	Acetato de etilo	62,91				
C4	1712	FS06028	44	Acetato de etilo	7,8119				
C5	1712	FS06029	40	Acetato de etilo	0				
C6	1712	FS06030	35	Acetato de etilo	273,58				
C7	1712	FS06031	40	Acetato de etilo	0				
						52,33	52,33	1460	----

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

7.1. *Personas que tienen exposición a Cloruro de Metileno.*

Tabla 161. Exposición al contaminante Cloruro de Metileno.

Cantidad almacenada: 18 L Cantidad anual utilizada: 100L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1284
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por las personas implicadas; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de colaboración y en el caso de personal con beca y alumnado colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto de vacaciones.

— —

$$C_{\text{cloruro metileno}} = 52,33 \text{ mg/m}^3 \quad C_{\text{cl me ponderada 8h}} = 32,706 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 177 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 21: Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada

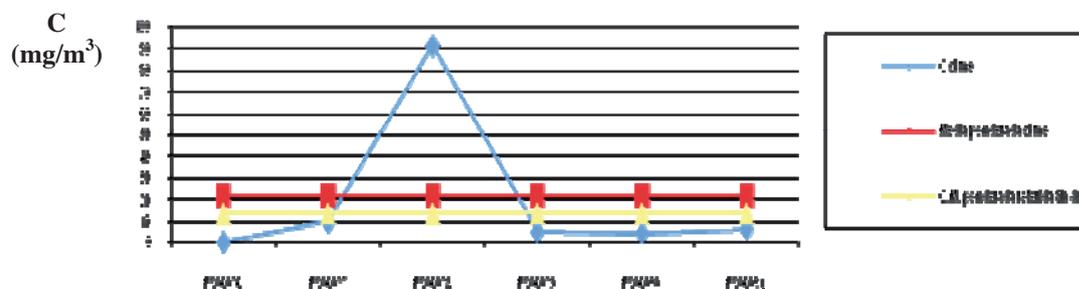


Tabla 162. Resultados obtenidos para cloruro de metileno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06026	37	Cloruro de metileno	0				
C2	1712	FS06027	32	Cloruro de metileno	9,206				
C3	1712	FS06027	32	Cloruro de metileno	9,206				
C4	1712	FS06028	44	Cloruro de metileno	91,511	21,53	21,53	177	----
C5	1712	FS06029	40	Cloruro de metileno	4,9103				
C6	1712	FS06030	35	Cloruro de metileno	4,208				
C7	1712	FS06031	40	Cloruro de metileno	6,137				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

7.4. Personas que tienen exposición a Acetona.

Tabla 163. Exposición al contaminante Acetona.

Cantidad almacenada: 18 L Cantidad anual utilizada: 150L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1712
C3	1284
C4	1284
C5	1070
C6	1070
C7	1070

(*) Datos de exposición referidos por las personas implicadas; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del Contrato de colaboración y en el caso de personal con beca y alumnado colaborador, calculando en base a una jornada de 6 y 5 horas diarias respectivamente. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto de vacaciones.

$C_{\text{acetona}} = 45,65 \text{ mg/m}^3$

$C_{\text{acet ponderada 8h}} = 28,53 \text{ mg/m}^3$

VLA – ED: 1210 mg/m^3

Gráfico nº 22. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

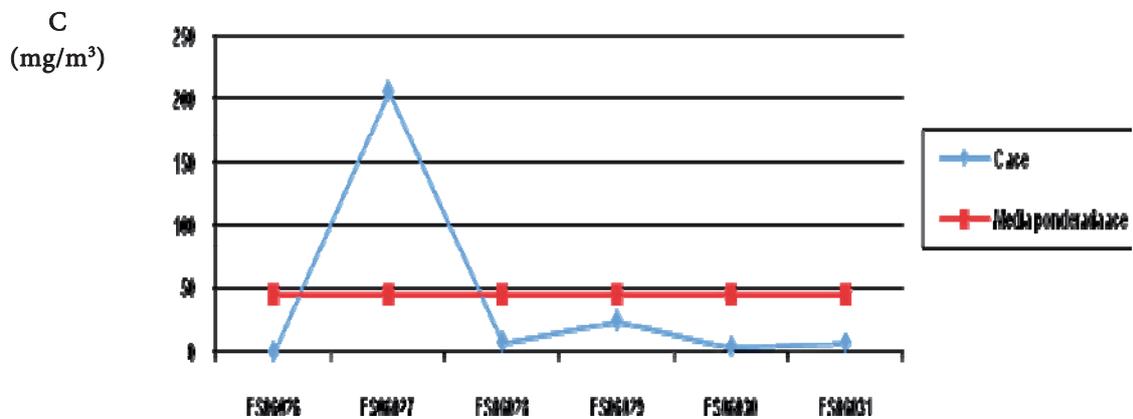


Tabla 164. Resultados obtenidos: acetona.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06026	37	Acetona	0				
C2	1712	FS06027	32	Acetona	270,07				
C3	1712	FS06027	32	Acetona	270,07				
C4	1712	FS06028	44	Acetona	7,8119	45,65	45,65	1210	1810
C5	1712	FS06029	40	Acetona	24,551				
C6	1712	FS06030	35	Acetona	4,208				
C7	1712	FS06031	40	Acetona	7,365				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Acetona, Cloruro de metileno y n-Hexano.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetato de etilo:	1460 mg/m ³	-
Acetona:	1210 mg/m ³	1810 mg/m ³
Cloruro de metileno:	177 mg/m ³	-
n-Hexano	1790 mg/m ³	3580 mg/m ³

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria:

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativos dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a cloruro de metileno comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,1216 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetona comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0,0377 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a n-Hexano comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0177 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a acetato de etilo comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0358 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La mezcla de agentes químicos ambientales tiene un índice de exposición de $I_t = 0,2128$.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido ha sido $I_t (\%) = 21,28\%$, menor que el 25%; por lo tanto la siguiente medición se realizará al cabo de 64 semanas.

Tabla 165. Cálculos.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (1)						Concentración media ponderada en el tiempo (2)	Concentración referida a 8 horas/día (3)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (mg/m³)	I (4)	It (5)
	FS06026	FS06027	FS06028	FS06029	FS06030	FS06031						
Acetona	0	270,07	7,8119	24,551	4,208	7,365	45,65	45,65	1210	1810	0,0377	0,2128
Cloruro de Metileno	0	9,206	91,511	4,9103	4,208	6,137	21,53	21,53	177	----	0,1216	
n-Hexano	0	4,603	8,927	1,227	5,611	1,227	3,154	3,154	179	----	0,0177	
Acetato Etilo	0	62,91	7,8119	0	273,58	0	52,33	52,33	1460	----	0,0358	

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra: (2) (Cti) Concentración media ponderada en el tiempo:

$$Ci = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

$$Cti = \frac{\sum Ci \times Ti}{\sum Ti} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(3) (EDi) Concentración referida a 8 horas/día: (4) (Iti) Índice de Exposición:

$$EDi = Ct \times \frac{Ti}{8} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

$$Iti = \frac{EDi}{VLA-EDi}$$

(5) (It) Índice de exposición Global:

$$It = \sum EDi / VLA-EDi$$

LABORATORIO 38FMAEH

1. Identificación.

Actividad: Estudio morfológico del cuerpo humano

2. Descripción de los puestos evaluados.

2.1. Puestos de trabajo afectados: PDI y personal técnico de laboratorio.

2.2. Principales fuentes de emisión: Son los cadáveres conservados en formol ubicados en cada una de las mesas y todas las operaciones de regado de los mismos, así como el trasvase y manipulación de disoluciones de formaldehído.

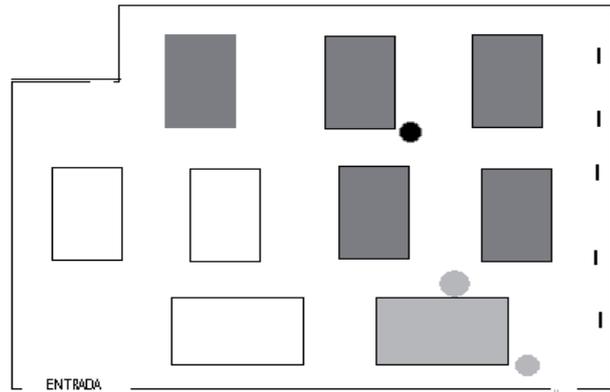
3. Metodología seguida.

El método seguido ha sido el NIOSH 2016. La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, filtros de sílica gel impregnados con 2,4-dinitrofenilhidracina.

Muestreo n° 1

Los filtros se situaron sobre un trípode, a una altura de 155.5 cm y su ubicación se indica en el esquema con un punto negro (T1).

En la esquina inferior derecha aparecen dos puntos grises que representan la posición relativa de C1 y C2 respectivamente.

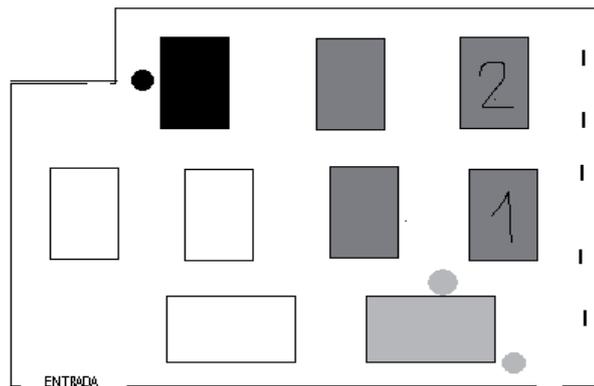


Croquis de posición nº 7

Dada la ubicación del punto de muestreo ambiental (color negro), se entiende que es donde se puede presentar una mayor concentración en la sala de formaldehído en aire debido a la menor renovación de aire que puede existir en dicho punto, siendo pues el lugar más desfavorable de la misma. Aquellas mesas donde se trabaja con formol las hemos coloreado en oscuro.

Muestreo nº 2

En este caso el muestreo ha sido personal, no ambiental. La posición de la persona portadora de la bomba de aspiración está representada mediante un punto de color negro en el croquis nº 8 adjunto. Indica la posición habitual durante la realización del trabajo.



Croquis de posición nº 8

Aquellas mesas de disección que contenían cuerpos se han coloreado en oscuro; las demás permanecían vacías en el momento del muestreo.

4. Sistema de ventilación existente.

El laboratorio cuenta con un sistema de ventilación forzado. Las líneas de color negro debajo de las ventanas (partes coloreadas a la derecha del esquema) muestran las rendijas de retorno del sistema de ventilación de la sala.

Adicionalmente cada mesa dispone de manera individual de impulsión del aire tratado procedente de los conductos de aire por la parte superior y extracción del aire al nivel de la mesa que va directamente al exterior.

El sistema de ventilación se encontraba en funcionamiento desde las 7.00 de la mañana, y las ventanas entreabiertas para facilitar la entrada de aire limpio. El sistema se encontraba en modo frío, para mantener una temperatura adecuada en la sala.

5. Tareas y técnicas de trabajo.

Se realizan disecciones de diferentes zonas del cuerpo de cadáveres conservados en formaldehído.

Además de las disecciones, se manipulan disoluciones de formaldehido y piezas que lo contienen.

El fin último es la docencia al alumnado de anatomía humana así como realizar investigación científica al respecto.

El personal técnico de laboratorio del departamento, además del ambiente que respiran en el interior de la sala de disección, están expuestos al formaldehído, tanto en la limpieza de la sala, que suele durar aproximadamente 2 h. y que se lleva a cabo con mangueras de agua a presión y productos de limpieza (lejía o amoníaco), como durante la operación de riego de los cadáveres ya sea con una mezcla agua/formaldehído, o sólo con agua. También son ellos los encargados de introducir el formaldehído en el interior de los cadáveres mediante perfusión con formol al 10% desde una cuba de 40 L colocada a 2 metros de altura.

6. Principales fuentes de emisión.

La principal fuente de formaldehído procede del cadáver donde se está realizando la práctica, el cual está totalmente descubierto.

Otras fuentes adicionales son los cadáveres conservados en formol ubicados en cada una de las mesas y todas las operaciones de regado de los mismos, así como el trasvase y manipulación de disoluciones de formaldehído.

7. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

Para ambos muestreos de formaldehído, la evaluación se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689 y la norma UNE-EN 486.

7.1. Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

7.2. Método de muestreo y análisis.

El método que usado es el NIOSH 2016 que a su vez está basado en método de la OSHA número 52, para la determinación de formaldehído en aire.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.5 lpm y como soporte adsorbente, filtros de sílica gel conteniendo 2,4-dinitrofenilhidracina.

El cambio de filtro se realizó cada 15 minutos, ya que para formaldehído el VLA existente es para exposición corta, VLA EC (15').

Tanto en el muestreo ambiental como en el personal, se llevó a cabo durante la duración total de una clase práctica impartida por la persona C1, quien portaba la bomba. Los filtros de

muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador. Las mesas estaban ocupadas por cinco cadáveres tapados todos de la forma habitual excepto el utilizado para la práctica. La práctica en cuestión consistía en mostrar a los alumnos la anatomía del brazo derecho del cuerpo humano.

La posición de C1 se muestra en el croquis de posición 8 con un punto negro. C2 y C3, se representan mediante puntos grises. Estaban trabajando manipulando muestras de cadáver conservadas en formol.

Se entiende que la posición relativa del trabajador portador de la bomba de muestreo es la habitual durante el desarrollo de su trabajo.

8. Evaluación de la exposición a agentes químicos.

- Evaluación de la exposición a formaldehído

8.1. Exposición a formaldehído.

Tabla 166. Exposición al contaminante Formaldehído.

Cantidad almacenada: 2000 L Cantidad anual utilizada: 500L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	130
C2	110
C3	180
C4	140
C5	150
C6	200

(*) Dato de exposición aportado por el personal implicado

8.2. Criterios de evaluación.

Valores Límites para formaldehído ambiental.

- Formaldehído en aire:

$$\text{VLA-EC} = 0,37 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA-ED} = \text{-----}$$

(Valor publicado en el documento “Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. Año 2011”.)

Tabla 167. Resultados obtenidos para formaldehído en muestreo ambiental (1).

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/día)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA (mg/m ³) o (ppm)	VALOR LÍMITE AMBIENTAL (VLA-ED) (mg/m ³)	VLA-EC (mg/m ³)
Ambiental	—	Formaldehído	FS04001	15,4	0,375800	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04002	15,4	0,375800	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04003	15,66666	0,386543	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04004	15,18333	0,374131	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04005	15,21666	0,297995	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04006	15,35	0,305042	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04007	15,21666	0,285578	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04008	15,96666	0,361379	—	0,37
—	—	Formaldehído	FS04009 (Blanco)	—	NSD	—	0,37

Error instrumental: Grado de incertidumbre en las medidas realizadas para un 95 % de intervalo de confianza: +/- 22 %. (ver método)

Tabla 168. Resultados obtenidos para formaldehído en muestreo personal (2).

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año)(*)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA (mg/m ³) o (ppm)	VALOR LÍMITE AMBIENTAL (VLA-ED) (mg/m ³)	VLA-EC (mg/m ³)
C1	200	Formaldehído	FS04010	24,92	0,326676	—	0,37
C2	200	Formaldehído	FS04010	24,92	0,326676	—	0,37
C3	200	Formaldehído	FS04011	15,33	1,438739	—	0,37
C4	200	Formaldehído	FS04011	15,33	1,438739	—	0,37
C5	200	Formaldehído	FS04012	20	1,675204	—	0,37
C6	200	Formaldehído	FS04012	20	1,675204	—	0,37
C7	-	Formaldehído	FS04013 (Blanco)	—	NSD	—	0,37

(*) Hemos indicado el mayor tiempo de exposición referenciado por las personas consultadas

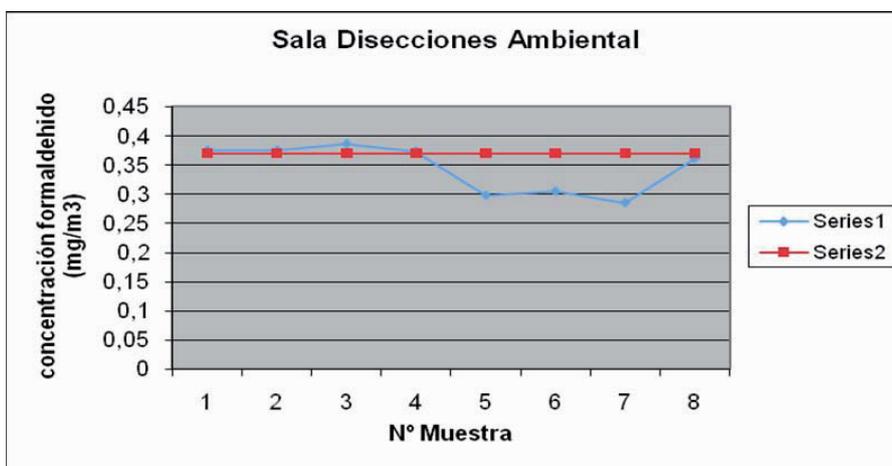
Error instrumental:

Grado de incertidumbre en las medidas realizadas para un 95 % de intervalo de confianza: +/- 22 %. (ver método

9. Conclusiones.

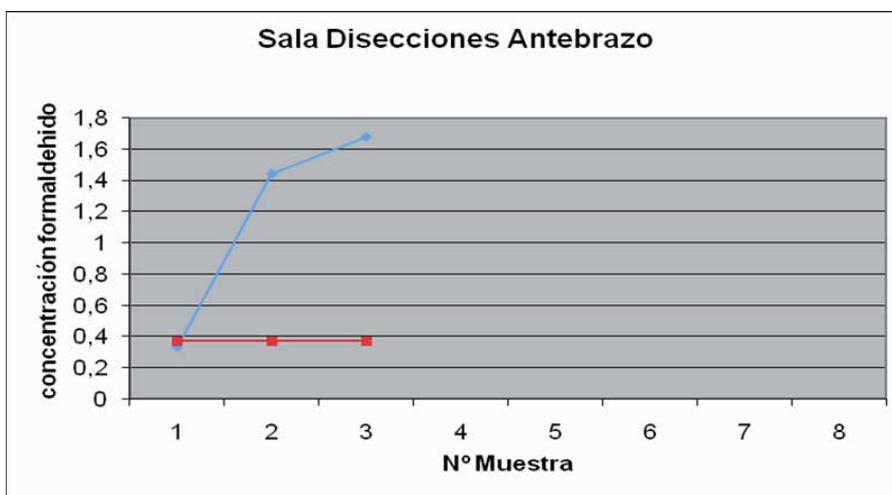
A la vista de los resultados obtenidos (se adjunta una gráfica en la que se muestra el valor de la concentración en función de la hora de medida), podemos comprobar que en la medida ambiental (Muestreo 1) se supera el Valor Límite Ambiental de exposición corta (VLA-EC) hasta un 104 %.

Gráfico nº 23. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.



En los datos referidos al muestreo personal (2) llevado a cabo durante la disección del antebrazo, llevada a cabo por C1, podemos ver como se supera hasta en un 450 % el VLA-EC.

Gráfico nº 24. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada en el muestreo personal (2).



LABORATORIO FBBAA40

1. Identificación.

Actividad: Restauración de obra pictórica

2. Descripción de los puestos evaluados.

Puesto de trabajo evaluado: Personal docente e investigador y estudiantes.

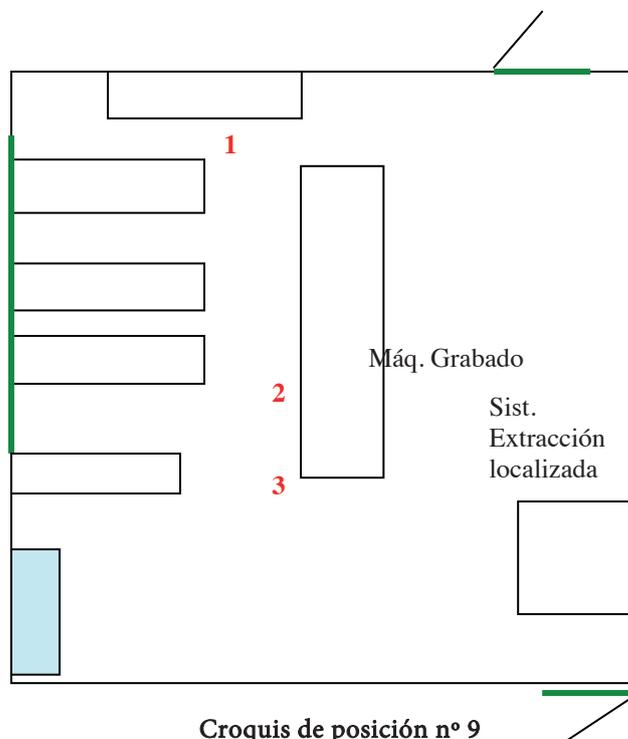
Persona portadora del muestreador: C1, C2, C3.

La descripción principal del puesto de trabajo consiste en restauración pictórica de lienzos al óleo, paneles y láminas.

3. Tareas y técnicas de trabajo.

Según el tipo de tarea, la zona de trabajo es sobre mesa, caballete o en la misma máquina de grabado.

4. Principales fuentes de emisión.



5. Sistema de ventilación existente.

El laboratorio dispone de sistema de ventilación general forzada. Las líneas verdes indican las entradas y salidas de aire de dicho sistema de ventilación. Este laboratorio cuenta con ventilación natural a través de la `puerta de entrada al mismo que suele estar abierta de forma permanente durante la jornada de trabajo; dos ventanales que permanecen con una rendija abierta solo en la época de calor, y, adicionalmente, de sistema de extracción localizada.

En el croquis nº 9 figuran unos números en rojo que corresponden a los puntos donde se ubican los trabajadores que han portado el muestreador: **1**, C1 **2**, C2 y **3** C3.

6. Evaluación del ambiente de trabajo. Metodología.

Para el muestreo de a-pineno, acetato de etilo, b-pineno y tolueno, la evaluación se ha efectuado de acuerdo con el R.D. 374/2001, la norma UNE-EN 689:1996 y la norma UNE-EN 482:1995.

6.1. Instrumentación utilizada.

- Bomba de muestreo de bajo caudal de la marca GILIAN, modelo LFS-113DC.
- Calibrador de caudal de la marca GILIAN, modelo Gilibrator.

Los equipos utilizados han sido calibrados previamente a su utilización y verificados al final de las mediciones.

La toma de muestra se realizó usando una bomba a un caudal de 0.20253 lpm, previamente calibrada, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El cambio de tubo se realizó cada 45, 44, 45 y 45 minutos, para cada muestra respectivamente.

El grado de incertidumbre global relativa del método para un 95% de nivel de confianza es de +/- 5% (intervalo de confianza).

6.2. Proceso de muestreo seguido.

Se llevó a cabo durante parte de la jornada de trabajo, eligiendo el periodo de mayor exposición previsible. Los filtros de muestreo se colocaron a la altura de las vías respiratorias del trabajador, mientras se realizaba la restauración de dos lienzos y un panel.

La posición de los trabajadores/alumnos que han portado el muestreador viene determinada en el croquis, de la siguiente forma: C1 **1**, C2 **2** y C3 **3**.

Se entiende que la posición relativa del trabajador portador de la bomba de muestreo es la más desfavorable debido a la menor renovación de aire existente en dicha área.

La toma de muestra se realizó usando una bomba previamente calibrada a un caudal adecuado, y como soporte adsorbente, tubos de carbón activo.

El tubo de carbón activo, una vez conectado a la bomba, fue ubicado verticalmente en la zona de respiración del trabajador (sujeto con pinza en la solapa de la bata de trabajo); la bomba fue colocada en el bolsillo de la bata del trabajador.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de ésteres (acetato de etilo) es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de esteres I (Acetato de metilo, Acetato de etilo, Acetato de isobutilo, Acetato de n-butilo) en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-023/A92.

El coeficiente de variación del método, calculado a partir de datos intralaboratorios de muestras captadas en atmósferas de Tolueno es inferior al 5% en todo el intervalo de aplicación. El método utilizado ha sido: “Determinación de Tolueno en aire – Método de Adsorción en carbón activo/cromatografía de gases”. MTA/MA-023/A92.

7. Exposición a agentes químicos.

En este laboratorio se ha detectado durante el día de muestreo, la exposición a los siguientes agentes químicos:

- *Exposición a acetato de etilo.*
- *Exposición a tolueno.*

- Exposición a α -pineno.
- Exposición a β -pineno.

7.1. Exposición a acetato de etilo.

Tabla 169. Exposición al contaminante acetato de etilo.

Cantidad almacenada: 3 L Cantidad anual utilizada: 30L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1070
C3	200
C4	200
C5	200

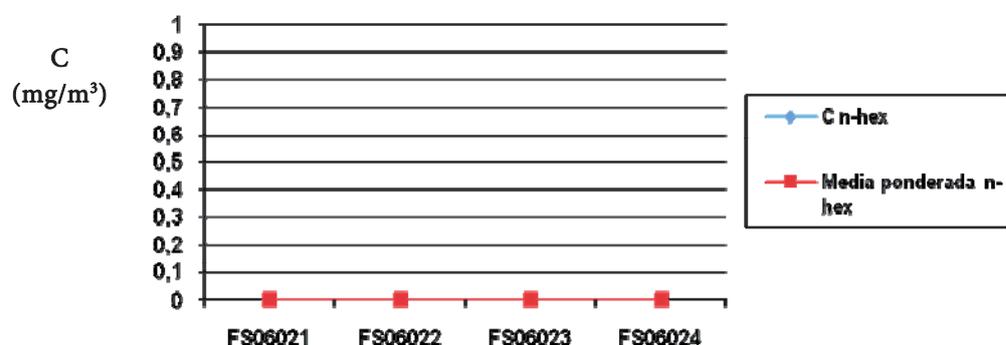
(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del personal con beca, jornada de 5 horas diarias, y en el caso del alumnado 5 horas semanales. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{acetato etilo}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{ac-et ponderada 8h}} = 0 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 1460 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 25. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.



No se han detectado concentraciones de acetato de etilo en las muestras analizadas.

7.2. Exposición a Tolueno.

Tabla 170. Exposición al contaminante Tolueno.

Cantidad almacenada: 1 L Cantidad anual utilizada: 70L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1070
C3	200
C4	200
C5	200

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del personal con beca, jornada de 5 horas diarias, y en el caso del alumnado 5 horas semanales. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\text{tolueno}} = 1,128 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\text{tol ponderada 8h}} = 1,128 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{VLA - ED: } 191 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 26. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

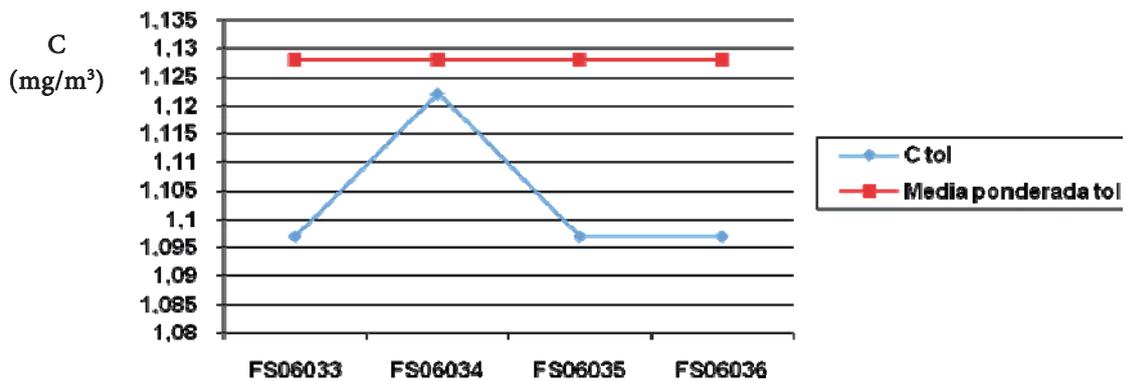


Tabla 171. Resultados obtenidos: tolueno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06033	45	Tolueno	1,097	1,128	0,705	191	-----
C2	1712	FS06034	44	Tolueno	1,122				
C3	1712	FS06035	45	Tolueno	1,097				
C4	1712	FS06036	45	Tolueno	1,097				
C5	1712	FS06036	45	Tolueno	1,097				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

7.3. Exposición a α -Pineno.

Tabla 172. Exposición al contaminante.

Cantidad almacenada: 1 L Cantidad anual utilizada: 50L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1070
C3	200
C4	200
C5	200

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del personal con beca, jornada de 5 horas diarias, y en el caso del alumnado 5 horas semanales. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\alpha\text{-pineno}} = 14,611 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{\alpha\text{-pin ponderada 8h}} = 14,611 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 27. Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

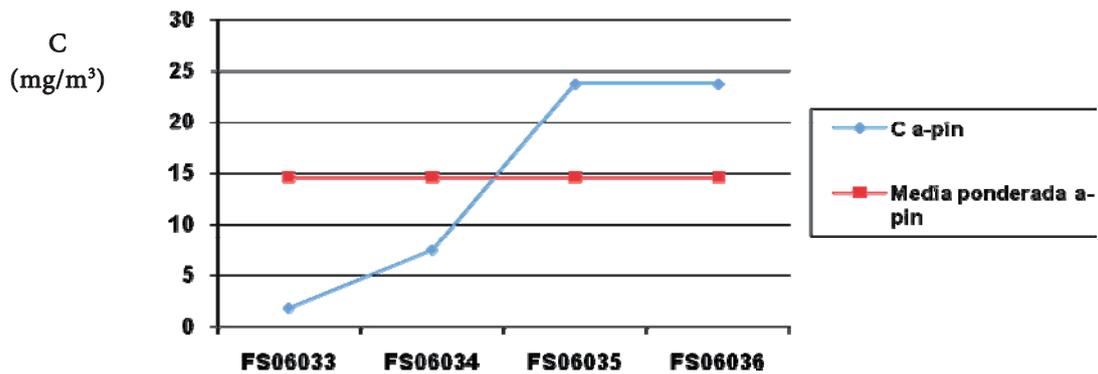


Tabla 173. Resultados obtenidos: α -pineno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06033	45	α -pineno	1,86	14,611	14,611	-----	-----
C2	1712	FS06034	44	α -pineno	7,51				
C3	1712	FS06035	45	α -pineno	23,81				
C4	1712	FS06036	45	α -pineno	23,81				
C5	1712	FS06036	45	α -pineno	23,81				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

7.4. Exposición a β -Pineno.

Tabla 174. Personas con exposición al contaminante.

Cantidad almacenada: 1 L Cantidad anual utilizada: 50L	
Puesto de trabajo	Tiempo de exposición de la persona (h/año)(*)
C1	1712
C2	1070
C3	200
C4	200
C5	200

(*) Datos de exposición referidos por los implicados; habiendo calculado en el caso del puesto de PDI una jornada de 8 horas diarias, durante un año; en el caso del personal con beca, jornada de 5 horas diarias, y en el caso del alumnado 5 horas semanales. En todos los casos, han sido descontados fines de semana, fiestas nacionales, vacaciones de navidad, semana santa y el mes de agosto.

$$C_{\beta\text{-pineno}} = 1,918 \text{ mg/m}^3 \qquad C_{\beta\text{-pin ponderada } 8\text{h}} = 1,198 \text{ mg/m}^3$$

Gráfico nº 28: Evolución de la concentración del contaminante con respecto a la muestra tomada.

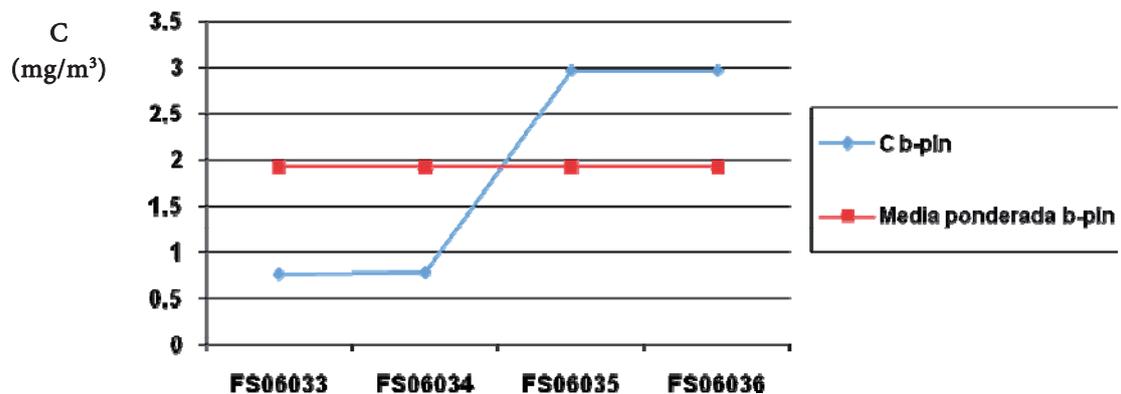


Tabla 175. Resultados obtenidos: β -pineno.

TRABAJADOR PORTADOR DEL MUESTREADOR	TIEMPO MEDIO DE EXPOSICIÓN (h/año) (*)	Nº DE MUESTRA	DURACIÓN MUESTREO (min)	AGENTES MUESTREADOS ANALIZADOS	CONCENTRACIÓN OBTENIDA (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA EN EL TIEMPO (mg/m ³)	CONCENTRACIÓN MEDIA OBTENIDA ED (Referida a 8h/día) (mg/m ³) (**)	VLA-ED mg/m ³	VLA-EC mg/m ³
C1	1712	FS06033	45	β -pineno	0,768	1,918	1,198	-----	-----
C2	1712	FS06034	44	β -pineno	0,785				
C3	1712	FS06035	45	β -pineno	2,962				
C4	1712	FS06036	45	β -pineno	2,962				
C5	1712	FS06036	45	β -pineno	2,962				

(*) Datos de exposición referidos por los implicados.

(**) Hemos optado por suponer que la exposición del trabajador es de 8 horas/día para no corregir la concentración

8. Criterios de evaluación.

Valores Límites Ambientales para Acetato de etilo, Tolueno, α -pineno y β -pineno.

Sustancia química	VLA-ED	VLA-EC
Acetato de etilo:	1460 mg/m ³	-
Tolueno	191 mg/m ³	-
α -pineno	-	-
β -pineno	-	-

9. Conclusiones.

Valoración por comparación con el Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria

La obtención de la media de la concentración ambiental de una jornada sólo nos da información sobre si se supera o no el VLA-ED ese día. La predicción de lo que va a pasar en los días venideros requiere muestrear varias jornadas. El valor de la concentración ambiental varía en una misma jornada y de una jornada de trabajo a otra, por lo que la concentración media se puede considerar como una variable aleatoria.

La norma UNE-EN 689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativos dos sistemas de toma de decisiones según el número de jornadas para los que se dispone de valores de concentración ponderada durante toda la jornada referida a un período de 8 horas. En primer lugar, el sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras; y en segundo lugar, el sistema de decisión a partir de un gran número de muestras.

En este caso, vamos a utilizar como referente para la comparación con el VLA-ED el “sistema de decisión a partir de un pequeño número de muestras ($n \leq 6$) (UNE-EN 689, Anexo C); dando lugar las siguientes valoraciones por agente químico:

- La exposición a acetato de etilo comparada con el VLA-ED de ésta, da como resultado 0 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a tolueno comparada con el VLA-ED de éste, da como resultado 0,0059 ($I \leq 0,1$); por lo tanto, la exposición es aceptable y se presume improbable que se supere el VLA en cualquier jornada.
- La exposición a la mezcla es de $I_t = 0,0059$, lo que implica un $I_t (\%) = 0,59 \%$.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objetivo de controlar que no se supere el valor límite.

El valor obtenido del I_t es menor que el 25%; por lo tanto la siguiente medición se realizará al cabo de 64 semanas.

Tabla 176. Cálculos.

AGENTE QUÍMICO	Concentración obtenida por muestra (mg/m³) (1)				Concentración media ponderada en el tiempo (mg/m³) (2)	Concentración referida a 8 horas/día (mg/m³) (3)	VLA-ED (mg/m³)	VLA-EC (mg/m³)	I (4)	It (5)
	FS06033	FS06034	FS06035	FS06036						
Acetato Etilo	0	0	0	0	0	0	1460	----	0	0,0059
Tolueno	1,097	1,122	1,097	1,097	1,128	1,128	191	----	0,0059	
α-pineno	1,86	7,51	23,81	23,81	14,611	14,611	----	----	----	
β-pineno	0,768	0,785	2,962	2,962	1,918	1,918	----	----	----	

(1) (Ci) Concentración obtenida por muestra:

$$Ci = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

$$Ct = \frac{\sum Ci \times Ti}{\sum Ti} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(3) (EDi) Concentración referida a 8 horas/día:

$$EDi = Ct \times \frac{Ti}{8} \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

(4) (It) Índice de Exposición:

$$It = \frac{EDi}{VLA-EDi}$$

(5) (Iti) Índice de exposición Global:

$$Iti = \sum \frac{EDi}{VLA \cdot EDi}$$

(2) (Ct) Concentración media ponderada en el tiempo:

5.2. Contraste de la validez del IPMAQ. Valoración del Factor de manejo de las sustancias “k”.

Gracias a las mediciones realizadas y a la observación directa de la forma de aplicar y manipular las sustancias químicas, hemos definido el factor de manipulación “k” ya comentado. Este factor varía según la posibilidad de encerramiento de la fuente de emisión de agentes químicos y la forma en que se manejan y aplican las sustancias químicas. Sus valores se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 177. Valoración del factor K acorde con el criterio de manejo de sustancias y su forma de aplicación en cada laboratorio.

K	CRITERIO
100	Muy alto grado de dispersión superficial. No es posible encerrar la fuente de emisión de contaminantes. Se rocía y pulveriza al ambiente gran cantidad de sustancias químicas. Existe gran superficie emitiendo agentes químicos al aire. La ventilación y la extracción localizada son ineficaces.
75	Alto grado dispersión superficial. No es posible encerrar la fuente de emisión de contaminantes. Se esparcen por la superficie de trabajo y aplican superficialmente las sustancias químicas.
50	Media dispersión. Aunque existe posibilidad de encerrar la fuente de emisión de contaminantes, existen trasvases y preparación de disoluciones fuera de las vitrinas de gases de manera habitual.
25	Baja dispersión. Existen trasvases y preparación de disoluciones de manera habitual y se realizan en el interior de las vitrinas de gases.
4	Muy baja dispersión. Las preparaciones de disoluciones y trasvases son muy esporádicas y se hacen el interior de las vitrinas de gases.
0-1	1= No existe dispersión superficial. La ventilación general y la extracción localizada evitan la dispersión al ambiente de las sustancias químicas. 0= Los procesos de manipulación de sustancias químicas están muy automatizados. No existe manipulación de agentes químicos.

Recordemos que la variación del factor, de 0 a 100, se justifica ya que, aplicando la ponderación apropiada a cada laboratorio hemos podido observar que el orden de la peligrosidad de los laboratorios atendiendo únicamente a las mediciones de las concentraciones ambientales y el orden de la peligrosidad aplicando el factor de ponderación correspondiente aplicando el IPMAQ (donde no se realizan mediciones ambientales de concentración) se mantiene y proporciona resultados coherentes a nuestra tesis formulada.

Aplicando este factor “k”, al índice de ventilación de cada laboratorio analizado (I_v), hemos obtenido los resultados del IPMAQf (IPMAQ donde se ha incluido el factor k) que a continuación se exponen.

Los resultados del índice de exposición total “ I_t ”, obtenido de cada laboratorio, que representa la concentración total de sustancias químicas en el ambiente en los muestreos

realizados en los diferentes laboratorios, también son tenidos en cuenta en la tabla, junto con el índice de ventilación y el valor de “k”.

Tabla 178. Resumen de resultados de los It e IPMAQf obtenidos en los diferentes laboratorios estudiados. Orden decreciente de IPMAQf.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	It x 100	IPMAQf	Iv	K
19FMAP	Sala de Autopsias	408	25	10	-	4330	8	50
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	405	15	8	452,43	3360	4	100
03FCQO	Biología de Hongos y Química de productos naturales	106	15	26	46,07	3146	4	25
04FCQO	Investigación en química orgánica	107	15	24	24,87	2928	4	25
06FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	18	15	84	21,28	2772	4	4
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	104	22	20	-	2520	4	25
10FMAP	Laboratorio Tallaje	101	22	20	-	2460	4	25
01FCQO	Biología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	22	21	56	11,5	2408	4	4
07FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	28	28	36	-	2016	4	4
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	31	25	36	-	2016	6	4
02FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	106	15	16	2,23	1936	4	25
05FCB	Investigación con Biomembranas	16	21	48	0	1776	4	0
09FMAP	Laboratorio Inmunotoquímica y Biología Molecular	5	22	64	-	1728	4	1
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	29	25	32	-	1728	6	4
40FBBA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	410	22	4	0,49	1728	4	100
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	41	25	26	-	1716	8	4
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	41	25	24	-	1584	8	4
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	102	19	12	-	1452	4	25
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	33	8	32	-	1312	6	4
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	-	1148	4	1

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	It x 100	IPMAQf	Iv	K
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	-	1032	6	1
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	30	15	20	-	900	6	4
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	31	25	16	-	896	6	4
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	-	736	6	1
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	39	22	12	-	732	8	4
18FMAP	Laboratorio de Citología.	29	25	12	-	648	6	4
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	41	25	8	-	528	8	4
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	-	504	8	1
11FMAP	Actividad: Laboratorio Citología	13	22	12	-	420	6	1
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	-	420	8	1
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	-	420	8	1
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	41	25	6	-	396	8	4
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	-	344	6	1
30FMBQ	Laboratorio de radio inmunoensayo. Radioimmuneassay (R.I.A.)	15	28	8	-	344	6	1
08FMAP	Laboratorio general	5	22	4	-	108	4	1
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	-	0	6	1
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	-	0	6	1
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	-	0	6	1
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	-	0	6	1
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	-	0	4	1

Si colocamos los datos que obtuvimos referentes al IPMAQ de cada laboratorio en donde se muestrearon las concentraciones ambientales de los agentes químicos de la tabla anterior y los ordenamos de manera creciente en su IPMAQ junto con su índice de exposición global, tenemos como resultado la siguiente tabla:

Tabla 179. Resumen de resultados de los It obtenidos en los diferentes laboratorios ordenados por orden decreciente de It y de IPMAQ compensado.

Laboratorio	Actividad	It (x100)	IPMAQf
38FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano	452,43	3360
3FCQO	Biotecnología y Química de Productos Naturales.	46,07	3146
4FCQO	Productos Naturales y Síntesis Orgánica Aplicada.	24,87	2928
6FFQ	Química Farmacéutica.	21,28	2772
1FCQ1	Biotecnología de hongos y síntesis de moléculas bioactivas.	11,5	2408
2FCQ2	Química de carbohidratos, síntesis, reactividad y diseño.	2,23	1936
5FCB	Bioquímica y Biología Molecular I.	0	1776
40FBBA	Restauración sobre lienzo.	0,59	1728

Según esta compensación del IPMAQ realizada con el factor de manejo “k”, se obtiene el mismo orden de peligrosidad atendiendo a la magnitud del “It” medido para cada laboratorio y el IPMAQ compensado con los criterios establecidos, modificando el Iv de cada laboratorio multiplicándolo por su “k” correspondiente.

Sólo en el caso del laboratorio 5FCB existe una alteración en el orden de peligrosidad. Dicha alteración es debida a la gran cantidad de sustancias utilizadas en dicho laboratorio que contribuyen a la peligrosidad del mismo y que no tienen tendencia a pasar al ambiente, proporcionando por tanto más peligrosidad IPMAQ que concentración ambiental detectada ambiental.

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El método propuesto en esta Tesis para evaluar la peligrosidad de los laboratorios, proporciona una herramienta valiosa a la hora de planificar la actividad preventiva y establecer las prioridades en la asignación e inversión de los recursos económicos preventivos existentes puesto que clasifica a los mismos según la peligrosidad determinada. El objetivo final perseguido es triple: prevenir los posibles daños a la salud de las personas, los daños materiales ocasionados en las instalaciones en general y, de manera particular, los ocasionados en los laboratorios e, incluso, los daños y perjuicios ocasionados al medio ambiente.

El método consiste en calcular un índice, al cual hemos denominado: Índice de Peligrosidad en el Manejo de Agentes Químicos (IPMAQ).

Dicho índice, cuando se maneje una sola sustancia química “i” se define como:

$$IPMAQ_i = I_{s_i}(IL + Ir)$$

donde:

IPMAQ_i= Índice de peligrosidad en el manejo del agente químico “i”

(i) = Sustancia química “i”.

I_{s_i} = Índice de riesgo global de la sustancia “i”.

IL = Índice de peligrosidad del laboratorio, que se refiere al “estado del laboratorio”.

Ir= Índice de peligrosidad asociado a la persona, que se refiere a la protección de la persona frente a una posible exposición al peligro del laboratorio).

El índice de peligrosidad del laboratorio (“IL”) se define como:

$$IL = I_a + I_{Lo} + kI_v + I_m + I_e$$

donde:

Ia= Índice debido al almacenamiento.

Ilo = Índice debido a la extracción localizada

k= Factor de manejo de las sustancias

Iv= Índice debido a la ventilación general

Im= Índice debido al mantenimiento de instalaciones

Ie = Índice debido a los equipos

El índice de peligrosidad asociado a la persona ("Ir):

$$Ir= Ipr + Id + Io + If + Ih$$

donde:

Ipr = Índice debido a la protección respiratoria

Ipd = Índice debido a la protección dérmica

Ipo = Índice debido a la protección ocular

If= Índice debido a la formación

Ih= Índice debido a las prácticas de higiene personal

Si, como suele ser habitual, se maneja más de una sustancia química, el índice IPMAQ se calcula para el conjunto de todas las sustancias manejadas en el laboratorio se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IPMAQ= \sum I_{s_i} (IL + Ir)$$

donde:

$\sum I_{s_i}$ = la suma de los índices de riesgo globales de todas las sustancias manejadas.

IL = Índice de peligrosidad del Laboratorio.

Ir = Índice de peligrosidad asociado a la persona.

Como se puede apreciar, el índice adopta un valor diferente según el estado de las variables influyentes en la peligrosidad del laboratorio. Dicho valor varía dependiendo de las características de peligrosidad de las sustancias, de las cantidades usadas, de la tendencia a pasar

al medio ambiente de éstas y de la calidad de las medidas de control de las diferentes variables que influyen en la peligrosidad.

Para asignar valor al índice, la persona que realiza la evaluación dispone de una guía que le orienta a través de los cuestionarios diseñados (véanse anexos 2 y 3). Hemos intentado que sea una guía de fácil aplicación, basada en la observación directa de las diferentes variables que influyen y que hemos tenido en consideración en los índices ya comentados. Adicionalmente nos apoyamos en los datos aportados por las personas del laboratorio a través de sus respuestas en un cuestionario estandarizado que recoge la información más relevante.

Recordemos que el índice propuesto, IPMAQ, es una combinación de dos factores: uno relacionado con la peligrosidad y la cantidad de sustancias utilizadas (ΣIs), y otro factor compuesto, a su vez, por la suma de dos índices: el relacionado con el lugar de trabajo (el laboratorio) y el relacionado con la persona, receptora del riesgo ($IL+Ir$).

Así, el IPMAQ = $\Sigma Is (IL+Ir)$

Este hecho, nos permite clasificar los diferentes laboratorios acorde con su peligrosidad y compararlos a través de su índice.

Así, por ejemplo, en nuestra aplicación de la metodología propuesta, ponemos de manifiesto que el laboratorio evaluado con más peligrosidad es el 19FMAP, con un IPMAQ de 4330, siendo el de menor peligrosidad el laboratorio 25FMBQ, con un IPMAQ de 0.

Por lo tanto, si hubiera que destinar recursos a la mejora de las condiciones de trabajo en dichas instalaciones, habría que empezar por el laboratorio 19FMAP, que es el que entrañaría un mayor índice de peligrosidad entre de los analizados.

Como vemos, desde el punto preventivo, el IPMAQ es útil como herramienta para planificar la actividad preventiva y aplicar los recursos necesarios, de manera prioritaria, a aquellos laboratorios con mayor valor del índice.

Tras un estudio de la clasificación puesta de manifiesto en la tabla nº 180, hemos podido diferenciar cuatro niveles de peligrosidad de los laboratorios según su IPMAQ. Esta división de la peligrosidad de los diferentes niveles no se puede entender como rígida si no como flexible y aproximada.

Nivel 4 (Q4): Aquellos laboratorios con índice de peligrosidad muy alto (mayor de 2500), recogidos en la tabla 180.

Tabla 180. Laboratorios nivel 4 de peligrosidad con IPMAQ mayor que 2500.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	IPMAQ
19FMAP	Sala de Autopsias	408	25	10	4330
38FMAEH	Laboratorio de prácticas de disección	405	15	8	3360
03FCQO	Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales	106	15	26	3146
04FCQO	Investigación en química orgánica	107	15	24	2928
06FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	18	15	84	2772
14FMAP	Laboratorio General de Histología y Citología	104	22	20	2520

Nivel 3 (Q3): Laboratorios con índice de peligrosidad alto (IPMAQ entre 1500 y 2500), recogidos en la tabla 181.

Tabla 181. Laboratorios nivel 3 de peligrosidad con IPMAQ entre 1500 y 2500.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	Σ Is	IPMAQ
10FMAP	Laboratorio Tallaje	101	22	20	2460
01FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	22	21	56	2408
07FFQ	Investigación en Química Farmacéutica 2	28	28	36	2016
35FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	31	25	36	2016
02FCQO	Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico	106	15	16	1936
05FCB	Investigación con Biomembranas	16	21	48	1776
09FMAP	Laboratorio Inmunoestoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728
17FMAP	Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos	29	25	32	1728
40FBBAA	Taller de Restauración pintura al lienzo en Palacio Almirante	410	22	4	1728
21FMBQ	Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular	41	25	26	1716
39FCQA	Investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos	41	25	24	1584

Nivel 2 (Q2): Laboratorios con índice de peligrosidad medio (entre 500 y 1500), recogidos en la tabla 182.

Tabla 182. Laboratorios nivel 2 de peligrosidad con IPMAQ entre 500 y 1500.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	IPMAQ
12FMAP	Laboratorio de Macroscopía	102	19	12	1452
36FMAEH	Estudio morfológico del cuerpo humano.	33	8	32	1312
31FMBQ	Salas de prácticas (salas 1, 2, 3, 4)	13	28	28	1148
28FMBQ	Laboratorio de Inmunología	15	28	24	1032
34FMAEH	Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.	30	15	20	900
16FMAP	Laboratorio de Histoquímica	31	25	16	896
37FMAEH	Laboratorio de Investigación básica de Cardiología	8	15	32	736
13FMAP	Laboratorio procesamiento de muestras	39	22	12	732
18FMAP	Laboratorio de Citología.	29	25	12	648
15FMAP	Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular	41	25	8	528
23FMBQ	Laboratorio de experimentación animal	17	25	12	504

Nivel 1 (Q1): Laboratorios con IPMAQ menor de 500, recogidos en la tabla siguiente.

Tabla 183. Laboratorios nivel 1 de peligrosidad con IPMAQ menor que 500.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	Is	IPMAQ
11FMAP	Laboratorio Citología	13	22	12	420
22FMBQ	Laboratorio de Neuroquímica	17	25	10	420
24FMBQ	Laboratorio de Neurobiología	17	25	10	420
20FMBQ	Laboratorio de Proteínas y Lípidos	41	25	6	396
29FMBQ	Laboratorio de Renina	15	28	8	344
30FMBQ	Laboratorio de radio inmunoensayo. Radioimmunoassay (R.I.A.)	15	28	8	344
08FMAP	Laboratorio general	5	22	4	108
26FMBQ	Laboratorio de Marcadores tumorales	15	0	0	0
27FMBQ	Laboratorio análisis bioquímico	15	0	0	0
32FMBQ	Laboratorio de Farmacología	15	0	0	0
33FMBQ	Sección de Diabetes	15	0	0	0
25FMBQ	Laboratorio de Autoestimulación	13	0	0	0

Como se puede observar, 12 de los 40 laboratorios se encuentran clasificados como de baja peligrosidad.

Otro aspecto que puede llamar la atención es que, observando los resultados de los laboratorios 01FCQO y 09FMAP, aún siendo usadas en este último laboratorio una mayor cantidad y variedad de sustancias químicas (véase tabla 181 donde se reflejan los Σ Is de ambos laboratorios), la peligrosidad sea menor que el de biotecnología de hongos. A través de un estudio de sus índices (véanse tabla 178) se puede observar que este hecho es debido a que el Índice de peligrosidad del Laboratorio 09FMBQ perteneciente al centro FM tiene un valor de IL de 5, bastante menor que el del centro FC, que es de 22. Sin duda, las mejoras observadas en las instalaciones del laboratorio 09FMBQ, junto a un mejor manejo de las sustancias, hacen que su peligrosidad sea inferior al 01FCQO.

Tabla nº 184. IPMAQ de los laboratorios 1FCQO y 9FMBQ.

LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	IPMAQ
01FCQO	Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas	22	21	56	2408
09FMBQ	Inmunestoquímica y Biología Molecular	5	22	64	1728

Otro hecho que se presta a una especial discusión son los datos de peligrosidad obtenidos para los dos laboratorios de Investigación en Química Farmacéutica 06FFQ Y 07FFQ. En la tabla 185 se pueden apreciar los datos extraídos de la tabla 110 para estos laboratorios.

Tabla 185. IPMAQ de los laboratorios 6FFQ y 7FFQ.

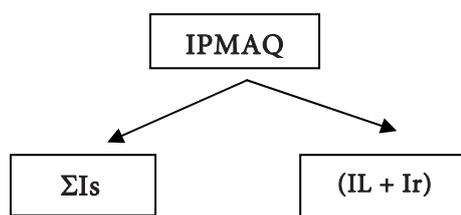
LAB	ACTIVIDAD	IL	Ir	ΣIs	IPMAQ
06FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	18	15	84	2772
07FFQ	Investigación en Química Farmacéutica	28	28	36	2016

Son dos laboratorios que pertenecen al mismo centro de trabajo, y de hecho, son contiguos en sus instalaciones, en cambio, podemos apreciar que la peligrosidad del laboratorio 06FFQ es mayor que la del 07FFQ. En este sentido, las sustancias manejadas poseen un índice global de riesgo diferente, siendo menor el del 07FFQ que el del 06FFQ y es que, realmente, se manejan menos sustancias y de ahí su peligrosidad menor. Nótese, en cambio, que el índice relacionado con el laboratorio "IL" es de 18 en el caso del laboratorio 06FFQ y de 28 en el laboratorio 07FFQ. Ello indica que las instalaciones son mucho mejores en el laboratorio 06FFQ que en el 07FFQ. Paralelamente se observa que el Índice de riesgo a relacionado con la persona "Ir" es para el Laboratorio 6FFQ de 15 y para el laboratorio 07FFQ de 28. La formación de las personas y las prácticas higiénicas implantadas en el laboratorio 06FFQ hace que este índice sea claramente menor, disminuyendo por este hecho el IPMQ resultante.

Otra característica del método que proponemos es que permite, además, cuantificar la repercusión sobre la peligrosidad del laboratorio cuando se modifican las condiciones de alguna de las variables.

Recordemos que el IPMAQ global se obtiene como combinación de otros índices asociados a unas variables.

Un desglose de los mismos, nos proporciona información sobre dónde poder aplicar los recursos necesarios para disminuir la peligrosidad del laboratorio.



Como puede observarse, se puede actuar a tres niveles diferentes:

- Sobre las sustancias,
- Sobre el laboratorio y
- Sobre las personas.

Así, por ejemplo, actuando sobre las sustancias, se pueden sustituir las más peligrosas por las que entrañan un menor peligro o utilizar menor cantidad. Con ello se disminuye el factor “ ΣIs ”. Se podrían proponer diferentes sustancias que se pueden utilizar en el laboratorio con menor peligrosidad y ver su impacto en el IPMAQ. Los resultados ordenados en orden decreciente de este índice “ ΣIs ” se pueden consultar en la tabla 110 de la página 212.

Por otro lado, como hemos visto, se puede actuar disminuyendo el factor $(IL + Ir)$ disminuyendo cualquiera de los índices relacionados, bien con el laboratorio IL (almacenamiento, ventilación, equipamiento, forma de trabajar, etc) o bien con la persona receptora Ir (protección respiratoria, formación, prácticas higiénicas, etc.)

El laboratorio con mayor índice de peligrosidad de los estudiados es el de la Sala de Autopsias, 19FMAP, con un IPMAQ de 4330 y el de menor, el 23FMBQ, de Autoestimulación del centro FM, con un índice de 0.

Haciendo, por ejemplo, un análisis global de los datos obtenidos el laboratorio 19FMAP, sería el más peligroso por tener mayor índice IPMAQ. Realizando un desglose del índice en sus diferentes componentes nos proporciona que:

$$\text{IPMAQ} = \sum I_s_i(\text{IL} + \text{Ir}) = 10 (408+25) = 4.330$$

donde:

$$\sum I_s = 10$$

$$\text{IL} = 408$$

$$\text{Ir} = 25$$

El índice global de riesgo de las sustancias manejadas, tal y como se puede apreciar en la tabla nº 64, es de 10. Es debido a que en la sala, de manera habitual, se trabaja con sustancias como: etanol y formaldehído.

En un primer intento, atendiendo siempre a la necesidad de actuar, a la hora de reducir la peligrosidad del laboratorio, primero sobre el foco que lo genera (en nuestro caso las sustancias químicas manejadas), deberíamos ver la posibilidad de sustituir a alguna de las sustancias más peligrosas durante los procesos de investigación y docencia para disminuir tal riesgo y cambiarla por otra que implique un índice de de peligrosidad menor.

Así, por ejemplo, si se evita el uso del formaldehído, el nuevo $\sum I_s = 2$, siendo en este caso, por tanto el índice de peligrosidad IPMAQ de 866, lo cual rebajaría el IPMAQ del laboratorio un 80% y que implicaría, bajo nuestro punto de vista, una reducción de la peligrosidad del mismo en ese mismo 80 %.

Discutiendo de nuevo la posibilidad de reducción de dicho índice (recordemos que es el laboratorio con mayor peligrosidad de los analizados), supongamos que, tras un análisis de las sustancias que se manejan, el personal que las utiliza no puede sustituir las por ser estrictamente necesarias para el normal desarrollo de su investigación, caso que es especialmente cierto en esta sala. Sólo en este caso tendríamos que acudir a la mejora de las instalaciones para que, de una manera lógica, mejoremos las medidas de contención establecidas.

Un análisis del índice IL nos proporciona que su valor, de 408, es debido a que: $I_a = 1$, $I_{lo} = 1$, $k=50$, $I_v = 4$, $I_m = 0$, $I_e = 0$.

Se puede apreciar que $I_v = 8$ porque este laboratorio no dispone de sistema de ventilación forzada. Esta cuantificación de la variable I_v , unida a la forma de trabajo, donde es imposible encerrar la totalidad de foco que está emitiendo vapores de formaldehído al ambiente (un cadáver), con lo cual tiene asignado un $k=50$, hace que el IL sea el mayor de los calculados.

La instalación del sistema de ventilación, en este caso, haría disminuir el índice I_v a 0, lo cual comportaría un nuevo IL de 8. El IPMAQ asociado ahora sería de 330, que implica una reducción de un 93 % en la peligrosidad del laboratorio.

Esta mejora introducida en las instalaciones podría ser presupuestada económicamente en una cantidad "Y". En este caso se puede valorar la idoneidad de realizar la citada inversión o, por el contrario, dedicar una menor cantidad en disminuir el tercer índice de riesgo, I_r , relacionado con la persona.

Si intentamos reducir el I_r (con valor de 25) mediante, por ejemplo, la reducción del I_{po} (actualmente en 4), tenemos que, si todo el personal usara gafas de seguridad integrales apropiadas según norma CE EN 166 el I_{po} sería de 1.

En la tabla 65 se pueden apreciar los datos relativos al I_r , donde:

$$I_r = 25, I_{pr} = 8, I_{pd} = 4, I_{po} = 4, I_f = 8, I_{ph} = 1$$

Adicionalmente, se podría implantar el uso de protección respiratoria certificada CE contra vapores orgánicos, lo cual haría reducir el I_{pr} de 8 a 1. Sumando estas dos mejoras y cuantificando nuevamente las variables, se provocaría una disminución en el Índice relacionado con la persona, I_r , que recalculado sería de 15, con lo cual el IPMAQ calculado de nuevo sería de 4230, lo que implicaría una reducción de la peligrosidad de un 2,3 %. Ni que decir tiene, que esta medida que actúa sobre la persona es la de menor efectividad debido a, en ocasiones, la imposibilidad, entre otros aspectos, de controlar el que todas las personas, en todo momento, tienen convenientemente colocados los guantes y las gafas de seguridad. El grado de incomodidad que en ciertas ocasiones genera el uso del EPI hace que este hecho sea, por desgracia, habitual.

Como hemos podido apreciar con la discusión de este laboratorio 19FMAP, las posibilidades de ver cómo mediante la modificación de las diferentes variables influyentes, se

modifican los índices de peligrosidad y el impacto en la peligrosidad total del laboratorio es múltiple.

Escojamos ahora, en otro ejemplo, un laboratorio en el centro FC, el de Investigación con Biomembranas, 05FCB, con un IPMAQ de 1776.

Realizando un desglose del índice en sus diferentes componentes nos proporciona que:

$$\text{IPMAQ} = \sum I_{s_i}(\text{IL} + \text{Ir}) = 48 (16+21) = 1776$$

donde:

$$\sum I_{s_i} = 48$$

$$\text{IL} = 16$$

$$\text{Ir} = 21$$

El índice global de riesgo de las sustancias manejadas, tal y como se puede apreciar en la tabla nº 36 de la página 180, es de 48. Es debido a que en el laboratorio, de manera habitual, se trabaja con sustancias como: n-hexano, etanol, acetona, ácido acético, metanol, éter y cloroformo.

Atendiendo siempre a la necesidad de actuar, a la hora de reducir la peligrosidad del laboratorio, primero sobre el foco que lo genera (en nuestro caso las sustancias químicas manejadas), deberíamos ver la posibilidad de sustituir a alguna de las sustancias más peligrosas durante los procesos de investigación y docencia para disminuir tal riesgo y cambiarla por otra que implique un índice de de peligrosidad menor.

Así, por ejemplo, si se evita el uso del éter, el nuevo $\sum I_{s_i} = 40$, siendo en este caso, por tanto la peligrosidad de 1480, lo cual rebajaría el IPMAQ del laboratorio un 17% y que implicaría, bajo nuestro punto de vista, una reducción de la peligrosidad del mismo en ese mismo 17 %.

Discutiendo, de nuevo, la posibilidad de reducción de dicho índice, supongamos que, tras un análisis de las sustancias que se manejan, el personal que las utiliza no puede sustituirlas por ser estrictamente necesarias para el normal desarrollo de su investigación. Sólo en este caso tendríamos que acudir a la mejora de las instalaciones para que, de una manera lógica, mejoremos las medidas de contención establecidas.

Un análisis del índice IL nos proporciona que su valor, de 20, es debido a que: $I_a = 3$, $I_{lo} = 4$, $k=0$, $I_v = 4$, $I_m = 6$, $I_e = 3$.

Se puede apreciar que $I_m = 6$ porque este laboratorio no dispone de las certificaciones correspondientes al mantenimiento de la instalación eléctrica de baja tensión ni las revisiones de la instalación de gases a presión. Esta cuantificación de la variable, junto a las otras, se puede apreciar en la tabla 39.

La certificación, en este caso, de las instalaciones descritas haría disminuir el índice I_m a 0, lo cual comportaría un nuevo IL de 10. El IPMAQ asociado ahora sería de 1488, que implica una reducción de un 16 % en la peligrosidad del laboratorio.

Esta mejora introducida en las instalaciones podría ser presupuestada económicamente en una cantidad "Y". En este caso se puede valorar la idoneidad de realizar la citada inversión o, por el contrario, dedicar una menor cantidad en disminuir el tercer índice de riesgo, I_r , relacionado con la persona.

Si intentamos reducir el I_r (con valor de 21) mediante, por ejemplo, la reducción del I_{po} (actualmente en 4), tenemos que, si todo el personal usara gafas de seguridad integrales apropiadas según norma CE EN 166 el I_{po} sería de 1.

En la tabla 37 se pueden apreciar los datos relativos al I_r , donde:

$$I_r = 21, I_{pr} = 8, I_{pd} = 4, I_{po} = 4, I_f = 4, I_{ph} = 1$$

Esta mejora, cuantificando nuevamente la variable, provocaría una disminución en el Índice relacionado con la persona, I_r , que recalculado sería de 18, con lo cual el IPMAQ calculado de nuevo sería de 1632, lo que implicaría una reducción de la peligrosidad de un 8 %. Ni que decir tiene, que esta medida que actúa sobre la persona es la de menor efectividad debido a, en ocasiones, la imposibilidad, entre otros aspectos, de controlar el que todas las personas, en todo momento, tienen convenientemente colocadas las gafas de seguridad. El grado de incomodidad que en ciertas ocasiones genera el uso del EPI hace que este hecho sea, por desgracia, habitual.

Similares situaciones se podrían plantear para el resto de los 40 laboratorios estudiados, poniendo claramente de manifiesto, la gran utilidad del método.

De la misma manera, se podrían estudiar los incrementos de la peligrosidad tras la inclusión en las investigaciones de nuevas sustancias químicas que alteren los datos del IPMAQ ya estudiado.

Otra discusión adicional, se puede hacer mediante el análisis del índice IL, como índice indicativo de la calidad de las instalaciones del laboratorio.

Recordemos que este índice es, a su vez, suma de otros:

$$IL = I_a + I_{Lo} + kI_v + I_m + I_e$$

donde:

I_a = Índice debido al almacenamiento.

I_{Lo} = Índice debido a la extracción localizada

K = Factor de manejo de sustancias

I_v = Índice debido a la ventilación general

I_m = Índice debido al mantenimiento de instalaciones

I_e = Índice debido a los equipos

Según nuestra propuesta metodológica, IL, sin incluir el efecto del manejo de las sustancias a través del factor “k”, puede adoptar valores entre 1 y 26, El 1 ejemplificaría a un laboratorio ideal en donde todas las instalaciones de ventilación, de gases, equipos de trabajo, almacenamiento, etc, fuesen “perfectas”. Nótese que este índice del laboratorio no adopta el valor 0 nunca puesto que el mero hecho de almacenar sustancias peligrosas hace que el índice de almacenamiento “ I_a ” adopte el valor de 1.

En principio, podríamos establecer, por analogía con otras clasificaciones¹, cuatro tipos de laboratorios atendiendo a su nivel de contención química:

- **L4:** Laboratorios con IL entre 1 y 6
- **L3:** Laboratorios IL entre 7 y 12
- **L2:** Laboratorios con IL entre 13 y 18
- **L1:** Laboratorios con IL entre 19 y 26

¹ Según el RD 664/1997 de Protección de los trabajadores frente al riesgo biológico, anexo 1, existen 4 tipos de laboratorios Biológicos acorde con su nivel de contención: Nivel 1 de contención biológica, nivel 2, nivel 3 y nivel 4.

Un “L4” ejemplificaría a un laboratorio dotado del mayor grado de seguridad química asociado a sus instalaciones. En principio, serían las instalaciones más apropiadas para albergar en ellas prácticas que conlleven la manipulación de sustancias químicas de mayor peligrosidad debido a su mayor nivel de contención del riesgo químico.

La clasificación de la peligrosidad de los laboratorios atendiendo a este criterio se puede consultar en la tabla 111 de la página 213. En este caso es el laboratorio donde se realizan las prácticas de autoestimulación (25FMBQ), es el que menor índice IL posee un valor de 5, claro indicador de que dispone de las mejores condiciones relacionadas con el laboratorio estudiadas, sería por tanto, un Q 4. En contraposición, es el laboratorio de Investigación con Biomembranas del centro FC el que mayor índice IL posee un valor de 20. La falta de ventilación forzada del mismo, unido a la falta de extracción localizada, principalmente, hacen que la peligrosidad asociada a sus instalaciones sea la mayor estudiada, perteneciendo al grupo de Q1.

Recordemos que el índice de peligrosidad del Laboratorio “IL”, y dada su relación directa con la calidad de las medidas de control del riesgo en el laboratorios, podría ser un índice que se pudiera relacionar directamente con el nivel de Sostenibilidad del Laboratorio.

La sostenibilidad aplicada a laboratorios es una cualidad relacionada con las dimensiones económicas, medioambientales y sociales del mismo. Desde el punto de vista social la seguridad es primordial ya que no se entendería un laboratorio “sostenible” donde las personas que trabajen en él, enfermen o se accidenten como consecuencia de las condiciones inadecuadas.

Como podemos apreciar en la siguiente tabla el IL es un índice relacionado con el laboratorio y cuyo valor está relacionado con la cuantificación de las variables que influyen en él.

Así, como el valor máximo del índice es de 26 y el mínimo que adopta es de 1, podremos definir un Índice de Sostenibilidad del laboratorio, como: $IS = 26 / IL$, adoptando el valor de 1, el laboratorio con peores instalaciones y de 26 el mejor de los laboratorios.

Tabla 186. Valores mínimos y máximos del Índice de Laboratorio (IL).

FUENTE POTENCIAL DE PELIGROSIDAD	INDICE DE PELIGROSIDAD	VALORES	MÍNIMO VALOR	MAXIMO VALOR
MEDIO (LABORATORIO)	Ia	1,2,3	1	3
	ILo	0,1,4,6	0	6
	Iv	0,1,4,6,8	0	8
	Im	0,6	0	6
	Ie	0,3	0	3
	IL	1-26	1	26

Basándonos en el IS hemos establecido cuatro niveles:

S1, laboratorios con IS bajo, entre 26/26 y 26/19

S2, laboratorios con IS medio, entre 26/18 y 26/13

S3, laboratorios con IS alto, entre 26/12 y 26/7

S4, laboratorios con IS muy alto, entre 26/6 y 26/1.

Ejemplo de la aplicación de este índice lo podríamos comprobar en nuestro estudio de laboratorios.

En nuestro caso, el peor índice de sostenibilidad corresponde al laboratorio 5FCQO de Investigación con Biomembranas, con un $IS = 26/20 = 1,3$ siendo el más “sostenible” desde el punto de vista de la seguridad el laboratorio General (8FMAP), con un $IS = 26/5 = 5,2$, que comparte valoración con los laboratorios de Inmunoquímica y Biología Molecular y el de tallaje, 10FMAP.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

El método de evaluación de la peligrosidad de los laboratorios químicos propuesto en esta Tesis, está basado en calcular un índice que hemos denominado Índice de Peligrosidad en el Manejo de Agentes Químicos (IPMAQ), que tiene en cuenta los siguientes aspectos: la peligrosidad y cantidad de las sustancias químicas utilizadas, su tendencia a pasar al medio ambiente, las características de su almacenamiento, la existencia o no de extracción localizada, las condiciones de ventilación y las instalaciones y el equipamiento existentes, y muy especialmente, la forma en la que se trabaja y la formación de los usuarios.

La observación estructurada de todas las variables tenidas en cuenta nos ha permitido, a través del IPMAQ, conocer con detalle la peligrosidad de los laboratorios químicos. No sólo podemos establecer si un laboratorio es más peligroso que otro, sino a qué se debe, cuáles son las características que lo hacen más peligroso y, por tanto, la variedad de actuaciones que podemos diseñar para rebajar su peligrosidad, en muchos casos con poco o ningún coste adicional.

El estudio que hemos realizado nos ha permitido plantear, entre otras, las siguientes conclusiones:

Primera

El método descrito permite evaluar la peligrosidad de los laboratorios mediante el Índice de Peligrosidad en el Manejo de Agentes Químicos (IPMAQ) sin necesidad de realizar mediciones de concentración de agentes químicos en el ambiente.

Segunda

Atendiendo al índice definido, podemos clasificar los laboratorios en cuatro niveles:

- Q1 laboratorios con IPMAQ bajo, inferior a 500
- Q2 laboratorios con IPMAQ medio, entre 500 y 1500
- Q3 laboratorios con IPMAQ alto, entre 1500 y 2500
- Q4 laboratorios con IPMAQ muy alto, superior a 2500

Tercera

El método nos permite además clasificar los laboratorios químicos atendiendo a otros tres índices: el Índice de riesgo global de las sustancias utilizadas (EIs), el Índice del laboratorio (IL) y el Índice relacionado con la persona (Ir). Así,

Atendiendo al Índice del laboratorio (IL), hemos clasificado en cuatro niveles:

L1 son laboratorios cuyo IL adopta valores comprendidos entre 19 y 26. En ellos el nivel de contención química es mínimo.

L2 son laboratorios cuyo IL adopta valores comprendidos entre 13 y 18. En ellos el nivel de contención química es medio.

L3 son laboratorios cuyo IL adopta valores comprendidos entre 7 y 12. En ellos el nivel de contención química es alto.

L4 son laboratorios cuyo IL adopta valores comprendidos entre 1 y 6. En ellos el nivel de contención química es muy alto.

Atendiendo al Índice de Riesgo Global de las Sustancias Manejadas (ΣI_s), hemos identificado aquellos laboratorios en los cuales el uso de sustancias químicas reviste una mayor peligrosidad. Y es que, hemos podido constatar, que los laboratorios que arrojan un IPMAQ más alto no siempre son aquellos que manejan las sustancias químicas más peligrosas. En estos casos, los niveles de contención del laboratorio y el grado de concienciación de las personas que trabajan en ellos, hace posible minimizar el peligro.

Atendiendo al Índice relacionado con la persona (I_r), hemos identificado aquellos laboratorios en los que las personas tienen un mayor grado de concienciación ante los riesgos que supone trabajar en los laboratorios químicos peligrosos, debido a la formación e información recibidas.

Cuarta

Es posible minimizar los costes de evaluación de la peligrosidad porque, al aplicar el método, no resulta imprescindible realizar mediciones de concentración de agentes químicos en el ambiente (evaluaciones que comportan, normalmente, un alto coste). Ahorramos, pues, tiempo, coste de instrumentación específica (bombas de muestreo, calibradores de caudal o equipos de medida directa de la concentración) y coste de análisis.

Quinta

El método nos permite planificar la actividad preventiva basándonos en un criterio técnico a la hora de implantar las acciones que permitan disminuir la peligrosidad del laboratorio. Aplicando dicho índice podremos priorizar, justificar y optimizar los recursos económicos disponibles.

Sexta

A partir del IPMAQ, es posible *definir un Índice de Sostenibilidad*,¹ $IS = 26 / IL$, relacionado con la seguridad y salud de los laboratorios. El $IS = 1$ en el caso de un laboratorio con pésimas instalaciones, mientras que $IS = 26$ en laboratorios con instalaciones que cumplan los requisitos de sostenibilidad. Basándonos en el IS hemos establecido cuatro niveles:

S1, laboratorios con IS bajo, entre 26/26 y 26/19.

S2, laboratorios con IS medio, entre 26/18 y 26/13.

S3, laboratorios con IS alto, entre 26/12 y 26/7.

S4, laboratorios con IS muy alto, entre 26/6 y 26/1.

Tengamos en cuenta que la sostenibilidad aplicada a laboratorios es una cualidad relacionada con las dimensiones económicas, medioambientales y sociales del mismo. Desde el punto de vista social, la seguridad es primordial ya que no se entendería un laboratorio “sostenible” donde las personas que trabajen en él, enfermen o se accidenten como consecuencias de las prácticas que se realicen. No obstante, esta conclusión ha de ser desarrollada en futuras actuaciones para poder definir con mayor precisión todos los factores intervinientes en la sostenibilidad de un laboratorio, que no han sido objeto de estudio en nuestra tesis.

A raíz de este estudio, proponemos las siguientes líneas futuras de actuación que complementen, perfilen y profundicen en los siguientes aspectos:

¹ Existe en España la Red Nacional de Laboratorios Sostenibles, LAB* a la cual está adherida la UGR. Es una plataforma de trabajo a nivel nacional desde la que poder abordar la falta de visión sostenible a la hora de diseñar, construir, remodelar, equipar y gestionar las instalaciones científicas, desarrollando criterios relacionados con aspectos tecnológicos, organizativos y de gestión. A través de Lab*s se establece un marco de colaboración entre todos los grupos de interés relacionados con el ámbito de los laboratorios para mejorar las instalaciones científicas y los equipamientos de las mismas y hacer posible el desarrollo de soluciones específicas, adaptadas a las necesidades presentes y futuras de los usuarios y de la sociedad, en general.

- Profundizar en una mejor definición del Índice Global de riesgo de las sustancias manejadas (Is) debido a la posible reacción química al mezclar sustancias altamente reactivas.
- Aplicar la metodología propuesta en otros laboratorios químicos con el fin de obtener más resultados y mejorar el índice.
- Usar la metodología propuesta como una herramienta de planificación preventiva.
- Definir índices similares para los laboratorios biológicos.
- Definir índices que permitan la evaluación de la peligrosidad de laboratorios en los que se trabaje, como suele ser habitual, con sustancias químicas y agentes biológicos.

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA.

Mención especial merece, tanto la normativa legal existente, como la normativa técnica relacionada con laboratorios; en concreto las Notas Técnicas de Prevención editadas por el INSHT (NTPs) y la Guía para la evaluación del riesgo de exposición a agentes químicos por vía inhalatoria del INSHT. Es por ello que le hemos dado una especial atención citándolas y comentándolas en el capítulo 1 de nuestra tesis.

Por otra parte, relacionamos la de aplicación a nuestra tesis:

1. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienist): Industrial Ventilation. Editorial Generalitat Valenciana. 1993.
2. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) TLV's threshold limit values and biological exposure indices, 2011.
3. AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION. Quality Assurance Manual for Industrial Hygiene Chemistry, USA, 1988.
4. AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Guidelines for Engineering Design for Process Safety. A.I.Ch.E., New York, USA, 1993.
5. AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Guidelines for Chemical Reactivity Evaluation and Application to Process Design. A.I.Ch.E., New York, USA, 1995.
6. AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety. A.I.Ch.E., New York, USA, 1994
7. AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Guidelines for Safe Automation of Chemical Process, A.I.Ch.E., New York, USA, 1993
8. Alba Hidalgo, M.A. Un Reto pendiente : la exposición laboral a agentes químicos cancerígenos : décimo aniversario de la publicación del Real Decreto 665-1997 . MAPFRE seguridad: Madrid : Editorial MAPFRE. 105, 1º trimestre 2007 : p. 18-30
9. Análisis y descripción de puestos de trabajo P.A.S. Gabinete de Recursos Humanos. Universidad de Granada.
10. Antonsson, A.B. Substitution of dangerous chemicals : the solution to problems with chemical health hazards in the work environment? . American Industrial Hygiene Association journal. - Akron, Ohio. - Vol. 56, nº 4, April 1995 : p. 394-397
11. Arthut C, Stern: Air pollution volumen II. Academic Press. Inc. London 1977.
12. Asfhal C. Ray. Seguridad industrial. Ed. Pearson educación. México 1999. Cuarta edición.

13. Aladay, E. y otros: Toxicología laboral básica. INSHT. Madrid 1989.
14. AA.VV.: Manual de higiene industrial. Ed. MAPFRE. 1991.
15. AA.VV.: La gestión de residuos peligrosos. Tomos I y II. Ed. Consejería de medio ambiente. Junta de Andalucía. 2000.
16. Barton, J., Rogers, R. Chemical Reaction Hazards. Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K., 1997.
17. Broughton, J. Process Utility Systems. Introduction to design operation and maintenance. Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K., 1994.
18. Bartual Sánchez, J. Y Col.: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2001-2002. Ed. Generalitat Valenciana. Valencia. 2001.
19. Boletines informativos del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de Salud y Seguridad Laboral. Números 0, 1, 2, 3 y 4.
20. Calow, P., Chichester. Controlling environmental risks from chemicals : principles and practice: John Wiley & Sons, cop. 1997
21. Caravaca, C. ¡Stop a los tóxicos! : registro, evaluación y autorización de sustancias químicas (REACH) *Ambienta*. 37, octubre 2004 ; p. 7-14
22. Carson, P.A and C.J. Mumford. Oxford [etc.]: Hazardous chemicals handbook / Butterworth-Heinemann, 1994.
23. Casarett, I. Y Doull, J.: Toxicology. The basic science of poison. 3th de Macmillan pub. New York 1986.
24. Cheremisinoff, N. P, Madelyn Graffia. Safety management practices for hazardous materials. Marcel Dekker, cop. 1996
25. Contreras, A. Introducción al estudio de la contaminación y su control. Editorial Universidad Nacional de Educación a Distancia. 1995.
26. Cortés Díaz, J.M. Técnicas de prevención de riesgos laborales. Seguridad e higiene en el trabajo. Ed. Tébar. 1998.3ª edición.
27. Documento sobre límites de exposición profesional para agentes químicos en España. Editorial INSHT. 2002.
28. Gómez Etxebarria, Gerardo: Manual para la prevención de riesgos laborales. Editorial CISS. Valencia. 2003.
29. Falagán Rojo, M.J. Higiene industrial aplicada "ampliada". Oviedo. Ed. Fundación Luis Fernández Velasco. 2005
30. Fernández García, R. Pautas fundamentales para clasificar sustancias y mezclas peligrosas. Gestión práctica de riesgos laborales. Madrid : Wolters Kluwer, 2005, 58 - marzo 2009, p. 52-57.

31. Fernández García, R. REACH : la nueva normativa de la Unión Europea en materia de sustancias y preparados químicos. Alicante : Club Universitario. 2007
32. Fleeger, A. Lillquist, D. Industrial hygiene reference & study guide. Virginia : American Industrial Hygiene Association, cop. 2006
33. Fraumeni, J. "Persons at high risk of cancer. An approach to cancer etiology and control", Academic Press. 1975.
34. General COSHH ACOP, carcinogens ACOP and biological agents ACOP: control of substances hazardous to health regulations 1994. Norwich : HSE, 1997
35. Guardino, X, y col. Seguridad y condiciones de trabajo en el laboratorio. INSHT, Madrid, 1992.
36. Guía técnica para la determinación y evaluación de la exposición laboral a agentes químicos. Editorial INSHT. 2003.
37. Grau, M. Exposición laboral a agentes cancerígenos. Ed. La ley actualidad. 2003.
38. INSHT. Criterios del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo para la realización de auditorias del sistema de prevención de riesgos laborales. Prevención, Trabajo y Salud, nº 13, 2001.
39. INSHT. Métodos de toma de muestras y análisis. Editorial INSHT. Madrid 1993.
40. Johnson Barry I. Impact of hazardous waste on human health. Lewis publishers. 1999.
41. Jones, D. Nomenclature for Hazard and Risk Assessment in the Process Industries, 2nd ed. Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K., 1994.
42. Keith, A. Boca Raton [etc.]. CRC handbook of laboratory safety Press, cop. 1995. 4ª Ed.
43. Klaassen, C.D and col. Essentials of toxicology. McGraw-Hill, cop. 2003. Kletz, T. A. Lessons from Disaster. Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K., 1993.
44. Kletz, T. A. HAZOP and HAZAN. Identifying and Assessing Process Industry Hazards, 3rd ed. Institution of Chemical Engineers, Rugby, U.K., 1992.
45. Keil, C.B. Mathematical models for estimating occupational exposure to chemicals. Virginia : American Industrial Hygiene Association, 1999.
46. Laboratory chemical hygiene: an IAHA Protocol Guide. Virginia. IAHA
47. Laboratory ventilation. Virginia: AIHA, 2002
48. Laborda, R y Velasco, J.: Valoración higiénica de contaminantes químicos en el ambiente laboral. Editorial asociación para la prevención de accidentes APA. San Sebastián 1996.
49. Laborda, R. Evaluación de la exposición a agentes químicos en el trabajo: manual práctico Valencia : Iniciativas para la Promoción del Desarrollo Económico. 2001
50. Lagoma L. Compuestos químicos alteradores endocrinos. Seguridad y salud en el trabajo. Madrid : INSHT, 1999. 48 - Mes julio , p.18-23

51. Lara, J.M, Sáenz, M.A. Guía para la utilización de productos químicos: clasificación de peligrosidad y requisitos de etiquetado. La Rioja : Instituto Riojano de Salud Laboral. 2002.
52. Leidel, N.A.; Busch, K. A. Y Linch, J. R.: Occupational exposure sampling strategy manual. NIOSH. Cincinnati. Ohio. 1997.
53. Lutterll, W.E., Jederberg W, Still, K. Toxicology principles for the industrial hygienist American Industrial Hygiene Association. 2008.
54. Lipton, S, Lynch J. Handbook of health hazard control in the chemical process industry. New York: John Wiley & Sons, cop. 1994
55. Maina, G et al. RISKOFDERM : un progetto europeo per la valutazione dell' esposizione per via cutanea e tossici industriali. La Medicina del lavoro. Fidenza. Mattioli 1885. 93, nº 2, Marzo-Aprile 2002 : p. 73-79
56. Martí Vaciana, A.; Bartual, j; Berenguer, M.J; Frixia, A y otros: Análisis de contaminantes químicos en aire. Editorial INSHT. Barcelona 1992.
57. Martínez, P.J, Rus E. Manual de seguridad en los laboratorios. Málaga. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga, 1999
58. Mendoza, M. Prevención de riesgos en el manejo de sustancias químicas. Técnica Industrial. Madrid. Fundación Técnica Industrial, 2007. 296. diciembre 2011
59. Mateo, P. Gestión de la higiene industrial en la empresa. Madrid. Fundación Confemetal. 2004
60. Memorias de los cursos académicos 1998-1999, 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003, 2003-2004, 2004-2005. 2005-2006, 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011. Universidad de Granada.
61. Métodos de ensayo para evaluar los riesgos producidos por sustancias peligrosas en el lugar de trabajo. Madrid : AENOR, 1999
62. Nadal, R. La manipulación de productos químicos potencialmente cancerígenos en los laboratorios. Documentos técnicos del INSHT.
63. National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH Manual of analytical methods.
64. Observatorio de enfermedades profesionales (CEPROSS) y de enfermedades causadas o agravadas por el trabajo (PANOTRATSS). Informe anual 2010. Ministerio De trabajo e Inmigración.
65. OIT .Oficina Internacional del Trabajo. Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo. Edita el Ministerio de Trabajo. Madrid. 1999.
66. Ollero, "Consideraciones generales sobre el humo del tabaco", Química e industria, vol. 30, nº 3, marzo de 1984.

67. Pulgar, M.I. et al. Riesgo químico. Madrid. INSHT. 2007. Fundación MAPFRE 4ª Ed.
68. Resolución de 25 de julio de 1997, de la Universidad de Granada, por la que se hacen públicas las relaciones de puestos de trabajo de personal funcionario y de personal laboral de administración y servicios de esta Universidad.
69. Resolución de 23 de marzo de 1999, de la Universidad de Granada, por la que se aprueba las modificaciones parciales de las relaciones de puestos de trabajo de personal laboral y personal funcionario de administración y servicios de esta Universidad.
70. Reglamento del personal de administración y servicios de la Universidad de Granada. Gabinete de Organización. 1999.
71. Regidor, L. Solans X, Huici,A. Consideraciones en torno a la prevención del cáncer de origen laboral. Salud y trabajo. INSHT. Madrid. 101, 1994-1 ; p. 4-7.
72. Repetto, M. Toxicología avanzada. Ediciones Díaz de Santos, Madrid, España, 1995.
73. Ricardo, J. Productos químicos en el trabajo : obligaciones, garantías y responsabilidades. Madrid : FUNDACIÓN MAPFRE, Instituto de Prevención, Salud y Medio Ambiente. 2008
74. Sadgrove, Kit. La gestión del riesgo en la empresa. Ed. AENOR. Madrid, 2000.
75. Sánchez, T. Sousa, Mª E. Riesgo Químico: sistemática para la evaluación higiénica. Madrid. INSHT. 2010.
76. Stephen, D, Denver, A. Industrial hygiene laboratory manual: National Environmental Health Association. 1998.
77. Shirley A. Indoor air quality. Maryland : Government Institutes, Inc., cop. 1996
78. Sicilia, F. Adquisición de Sustancias Peligrosas. Criterios Básicos. Mapfre Seguridad 1997; 68: 3-13.
79. Sicilia, F. Contaminantes Químicos. Monografía de los Cursos de Verano de la Universidad de Granada en Ceuta. Año 2000.
80. Sicilia, F. Residuos peligrosos. Monografía de los Cursos de Verano de la Universidad de Granada en Ceuta. Año 2000.
81. Sicilia, F. Prevención de riesgos en el manejo de residuos peligrosos en laboratorios”. Química e Industria. 2002, Marzo: 18-21.
82. Sicilia, F. Prevención de riesgos en la actividad docente e investigadora. Granada. ISBN. 978-84-694-0195-8. 2010.
83. Sicilia, F. Evaluación de la exposición laboral a agentes químicos. Metodología de muestreo ambiental. En: Gil, F. Tratado de Medicina del Trabajo. Barcelona: Ed. Masón, 2012: 351-362.
84. Strans, W y Mainwaring, S.I. Contaminación del aire. Editorial trillas, 1990.

85. Tejedor, J. N.; García-Gutiérrez, M J.: Estrategia de muestreo para la evaluación de la exposición laboral a agentes químicos. INSHT. Madrid 1994.
86. THE DOW CHEMICAL COMPANY. Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide. The Dow Chemical Company, Midland, Michigan, USA, 1997.
87. Trabajos asumidos por la Comisión Nacional de Seguridad y Salud por R.D. 1879/1996 (B.O.E. 9.8.96).
88. UNE 81551:1989. Calidad del aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de fibras de amianto en aire. Método de filtro de membrana/ microscopía óptica.
89. UNE 81569:1991. Calidad del aire. Atmósferas en el puesto de trabajo. Determinación de plomo metálico y sus compuestos iónicos. Método de espectrofotometría de absorción atómica de llama.
90. UNE 81575:1998. Calidad del aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de arsénico y sus compuestos en forma particulada y de vapores de trióxido de arsénico en aire. Método de generación de hidruros/ espectrofotometría de absorción atómica.
91. UNE 81580: 1992: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de n- hexano y tolueno. Método de muestreador pasivo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
92. UNE 81581:1992: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
93. UNE 81582:1991: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de hidrocarburos clorados en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
94. UNE 81583:1992: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de hidrocarburos alifáticos (n-hexano, n-heptano, n-octano, n-nonano) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
95. UNE 81584:1992: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de alcoholes (2-propanol, 2 metil-1-propanol, 1-butanol.) Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
96. UNE 81585:1992: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de éteres de glicoles (1-metoxi-2-propanol, 2-etoxietanol) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
97. UNE 81586:1998: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de vapores orgánicos en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.

98. UNE 81587:1994: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de metales y sus compuestos iónicos en aire. Método de espectrofotometría de absorción atómica con llama.
99. UNE 81588:1991: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de cloruro de vinilo en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
100. UNE 81590:1992: Control biológico. Determinación de plomo en sangre. Método de espectrofotometría de absorción atómica con cámara de grafito.
101. UNE 81591:1991: Control biológico. Determinación de plomo en sangre. Método de extracción. Espectrofotometría de absorción atómica.
102. UNE 81592:1992: Control biológico. Determinación de la actividad de la dehidrasa del ácido delta-aminolevulínico (ala-d) en sangre. Método espectrofotométrico.
103. UNE 81593:1992: Control biológico. Determinación del ácido delta-aminolevulínico (ala-d) en orina. Método de intercambio iónico / espectrofotometría.
104. UNE 81594:1992: Control biológico. Determinación de protoporfirina de cinc (ppz) en sangre. Método de lectura directa (hematofluorímetro.)
105. UNE 81595:1998: Control biológico. Determinación de mercurio en orina. Método de vapor frío con borohidruro de sodio. Espectrofotometría de absorción atómica.
106. UNE 81596:1994: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de ésteres I (acetato de etilo, acetato de 2-metilpropilo y acetato de n-butilo) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
107. UNE 81597:1994: Calidad de aire. Atmósferas en los puestos de trabajo. Determinación de ésteres II (acetato de 1 metoxi-2-propilo, acetato de 2 etoxietilo) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
108. UNE 81598:1992: Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de Cetonas (acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona) en aire. Método del tubo de carbón activo / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
109. UNE 81598/1M: 1998: Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de Cetonas (acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona) en aire. Método del tubo de gel de sílice / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
110. UNE 81599: 1996: Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de materia particulada (fracciones inhalable y respirable) en aire. Método gravimétrico.
111. UNE 81750:1997: Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de estireno en aire. Método del muestreador pasivo por difusión / desorción con disolvente / cromatografía de gases.

112. UNE 81750/1M: 1998: Calidad de aire. Atmósferas en el lugar de trabajo. Determinación de estireno en aire. Método del muestreador pasivo por difusión / desorción con disolvente / cromatografía de gases.
113. UNE 81751:1997: Control biológico. Determinación de estireno en aire exalado. Método de captación en tubo adsorbente/desorción térmica / cromatografía de gases.
114. UNE 81751/1M: 1999: Control biológico. Determinación de estireno en aire exalado. Método de captación en tubo adsorbente/desorción térmica / cromatografía de gases.
115. UNE-EN 481:1995: Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles (versión oficial en 481:1993)
116. UNE-EN 482:1995: Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.
117. UNE-EN 689:1996: Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición.
118. UNE-EN 838:1996: Atmósferas en el lugar de trabajo. Muestreadores pasivos por difusión para la determinación de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo.
119. UNE-EN 1076:1997: Atmósferas en el lugar de trabajo. Tubos adsorbentes para la determinación de gases y vapores captados mediante bombeo. Requisitos y métodos de ensayo.
120. UNE-EN 1231:1997: Atmósferas en el lugar de trabajo. Sistemas de medición por tubos detectores de corta duración. Requisitos y métodos de ensayo.
121. UNE-EN 1232:1997: Atmósferas en el lugar de trabajo. Bombas para el muestreo personal de los agentes químicos. Requisitos y métodos de ensayo.
122. UNE 100-011. Ventilación para una Calidad del aire aceptable en los locales.
123. UNE-EN 14175:2005 Vitrinas de gases, partes 2,3 y 4.
124. Wark, K. C, Warner, F. Contaminación del aire. Origen y control. Editorial Limusa, 1990.
125. Woodside, G. Hazardous materials and hazardous waste management. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 1999. 2ª edición.
126. Young, J.A, Kingsley, W. Whal, G. Developing a chemical hygiene plan Washington. American Chemical Society, 1990.
127. Zabaleta, U. Aldasoro, López, C. Tubía, Adellac, A. Guía práctica para la toma de muestras y el control ambiental de contaminantes químicos. Fundación MAPFRE 7ª Ed. San Sebastián. APA, 2008.

Páginas web y Bases de Datos consultadas:

España:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: INSHT:

<http://www.insht.es>

Agencia Española para la Seguridad y la salud en el trabajo:

<http://osha.europa.eu/fop/spain/es>

Estados Unidos:

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH): <http://www.acgih.org>

Perkin Elmer: Chemfinder Data Base: <http://www.chemfinder.com>

National Institute for Occupational Safety and Health,: <http://www.cdc.gov/spanish/niosh/>

Occupational Safety & Health Administration. U.s. Department of Labor:

<http://www.osha.gov/>

Reino Unido:

University of Liverpool Chemical Information Service:

<http://www.liv.ac.uk/library/electron/db/cds.html>

The Physical and Theoretical Chemistry Laboratory Oxford University

<http://physchem.ox.ac.uk/msds/>

Health & Safety Executive, <http://www.hse.gov.uk/>

Organización Internacional del Trabajo, OIT (Internacional Labor Organization, ILO)

ILO codes of practice;

<http://www.ilo.org/safework/normative/code>

APPLIS [Aplicación de Normas Internacionales del Trabajo]

CIS [Seguridad y Salud en el Trabajo]

CORENIT [Control de Normas Internacionales del Trabajo]

Data Base on Good Practices [Buenas prácticas]

Fichas Internacionales de riesgos por ocupaciones

FISQ [Fichas Internacionales de Seguridad Química]

ILOLEX [Normas Internacionales del Trabajo]

LABORSTA [Estadísticas del Trabajo]

LEGOSH [Legislación de Seguridad y Salud en el Trabajo]

NATLEX [Legislación Laboral de Países]

Principios Fundamentales en el Trabajo [Examen Anual]

CISDOC : base de datos bibliográfica:

http://www.ilo.org/dyn/cisdoc2/cismain.browseSubjects?p_lang=es

Bases de datos para la búsqueda de información de sustancias químicas.

ATSDR (Agency for Toxic Substance and Disease Registry), <http://www.atsdr.cdc.gov/>

CCOHS (Canadian Centre for Occupational Health and Safety), <http://www.ccohs.ca/>

EXTOXNET (The Extension Toxicology Network. University of California-Davis, Oregon State University, Michigan State University, Cornell University, and the University of Idaho),
<http://extoxnet.orst.edu/>

EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), <http://www.epa.gov/>

IARC (International Agency for Research on Cancer), <http://www.iarc.fr/>

ICSCs (Fichas internacionales de seguridad química)

<http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/icstart.html>

TOXNET (Toxicology Data Network). <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

U.S. National Library of Medicine; <http://www.nlm.nih.gov/>

Permite el acceso a las bases de datos siguientes:

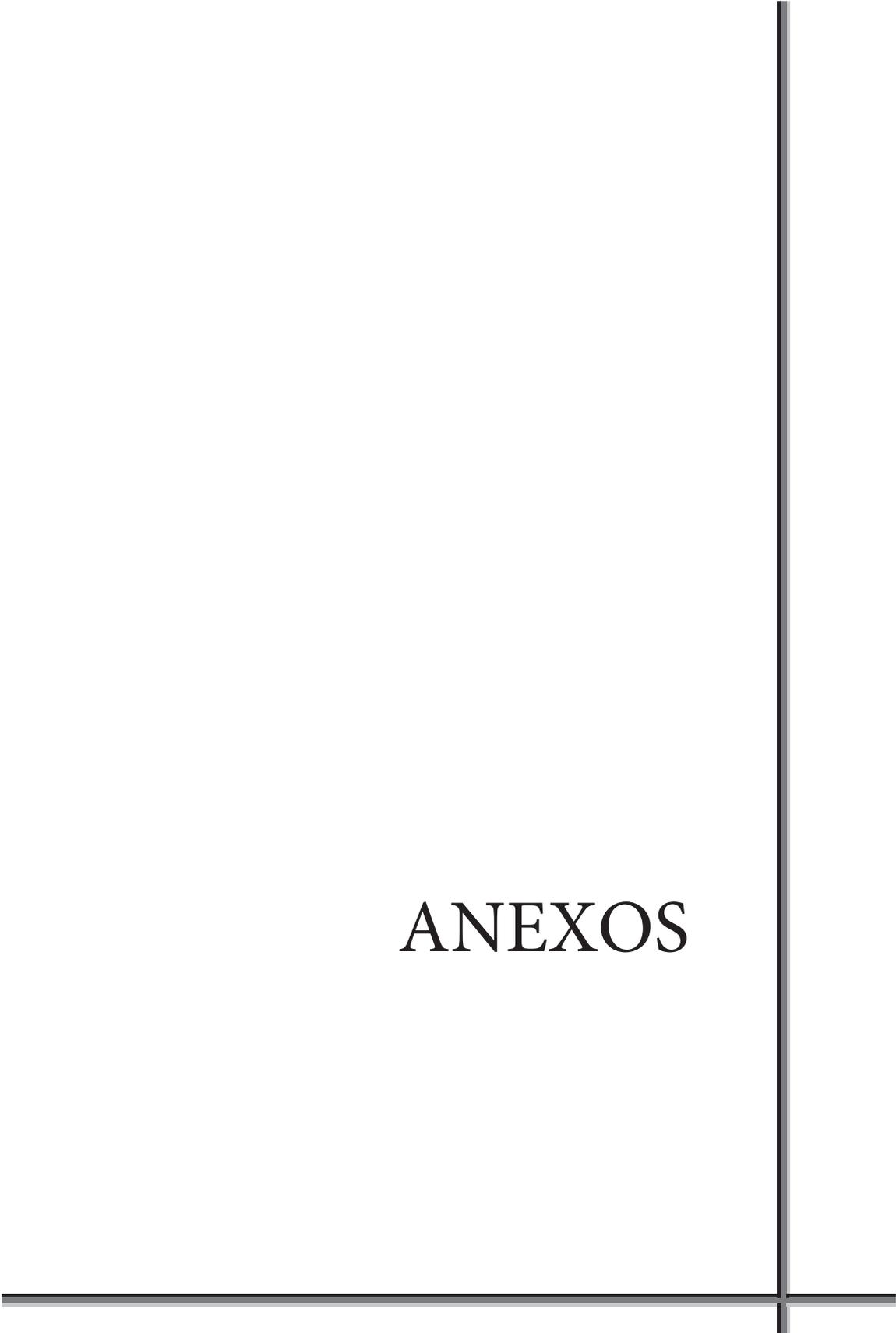
MEDLINE: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

TOXNET: <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

PubChem SUBSTANCE: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pcsubstance>

PubChem COMPOUND: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pccompound>

ANEXOS



ANEXO I

ANEXO I

CUESTIONARIO
DE ÍNDICES
RELACIONADOS
CON EL
LABORATORIO
(IL) Y CON LA
PERSONA (Ir)

CUESTIONARIO DE ÍNDICES	
Dpto.:	Laboratorio n°:
Cumplimentado por:	Fecha:
Índice de Almacenamiento: Ia	
1	Se dispone de almacén de seguridad, armarios de seguridad para productos muy tóxicos e inflamables, separándolos del resto de productos y se adoptan criterios de almacenamiento de compatibilidad química.
2	No se dispone de almacén específico de productos químicos, pero al menos se dispone de armarios de seguridad para almacenar los de mayor toxicidad y los inflamables. Se dispone de almacén de seguridad, aunque no hay criterios de segregación para separar los productos según su compatibilidad química.
3	No se dispone de almacén específico de productos químicos, y todos ellos se hayan dispersos por las diferentes dependencias del laboratorio.
Índice de extracción localizada: ILo	
0	Existe extracción localizada, es suficiente y funciona adecuadamente.
1	Existe extracción localizada, es limitada y funciona adecuadamente. Existe extracción localizada, es suficiente y funciona deficientemente
4	Existe extracción localizada, es insuficiente y funciona adecuadamente Existe extracción localizada, es limitada y funciona deficientemente
6	No hay extracción localizada extracción localizada, es insuficiente y funciona deficientemente.
Factor de manejo: k	
100	Muy alto grado de dispersión superficial. No es posible encerrar la fuente de emisión de contaminantes. Se rocía y pulveriza al ambiente gran cantidad de sustancias químicas. Existe gran superficie emitiendo agentes químicos al aire. La ventilación y la extracción localizada son ineficaces.
75	Alto grado dispersión superficial. No es posible encerrar la fuente de emisión de contaminantes. Se esparcen por la superficie de trabajo y aplican superficialmente las sustancias químicas.
50	Media dispersión. Aunque existe posibilidad de encerrar la fuente de emisión de contaminantes, existen trasvases y preparación de disoluciones fuera de las vitrinas de gases de manera habitual.
25	Baja dispersión. Existen trasvases y preparación de disoluciones de manera habitual y se realizan en el interior de las vitrinas de gases.
4	Muy baja dispersión. Las preparaciones de disoluciones y trasvases son muy esporádicas y se hacen en el interior de las vitrinas de gases.
0-1	1= No existe dispersión superficial. La ventilación general y la extracción localizada evitan la dispersión al ambiente de las sustancias químicas. 0= Los procesos de manipulación de sustancias químicas están muy automatizados. No existe manipulación de agentes químicos.
Índice de ventilación: Iv	
0	El laboratorio dispone de ventilación forzada eficaz y satisfactoria, se dispone de una o varias vitrinas de extracción de gases
1	El laboratorio dispone de ventilación forzada eficaz y se dispone de una o varias vitrinas de extracción de gases.
4	No se dispone de ventilación forzada en el laboratorio o es limitada y deficiente o, se puede trabajar con varias vitrinas de gases en funcionamiento y es viable la apertura de puertas y ventanas.
6	No se dispone de ventilación forzada en el laboratorio o se dispone de ventilación forzada insuficiente cuyo funcionamiento es además deficiente o se puede trabajar con una vitrina de gases en funcionamiento, y es viable la apertura de puertas y ventanas.
8	.No existe ventilación ni forzada ni natural.
Índice de mantenimiento de instalaciones: Im	
0	Adecuada
6	No adecuada
6	No disponible

Índice mantenimiento de equipos: Ie	
0	Adecuado
3	No adecuado
3	No disponible
Índice de protección respiratoria: Ipr	
1	Se usa la mascarilla adecuada, certificada CE, para el agente químico al cual se está exponiendo el trabajador.
8	Se usan mascarillas de "papel y/o celulosa", no certificadas para cualquier exposición a agentes químicos ambientales.
8	No se usa protección respiratoria durante el manejo de sustancias cancerígenas o muy tóxicas.
Índice de protección dérmica: Ipd	
1	Usa un guante certificado CE, para el riesgo químico en concreto
4	Normalmente cuando maneja sustancias peligrosas, usa guantes de látex de examen médico.
4	No usa guantes.
Índice de protección ocular: Ipo	
1	Adecuada: Usa protección ocular certificada contra proyección de líquidos
2	Suficiente
4	No adecuada
4	No disponible
Índice de formación del trabajador: If	
1	Adecuada
8	No adecuada
8	No certificable
Índice de prácticas higiénicas: Iph	
0	Muy altas: No se bebe, No se come, No se fuma, Si se lavan manos, Si lavan cara y Si lavan bata (NNNSSS)
1	Altas: (NNNSSN)-(NNNSNS)
4	Medias: (NNNSNN)
6	Escasas: (NNNNNN-NNNNNS)
8	Muy bajas: Sí se come, Sí se bebe, Sí se fuma, No se lavan manos, No se lavan cara, No se lavan bata. (SSSNNN)-(SSNNNN)-(SNSNNN)-(NSSNNN).
<u>Observaciones</u>	

Nota: tache la opción que proceda. Para valorar adecuadamente cada opción ha de revisar la ponderación de las variables descritas en el capítulo 3.

ANEXO II

ANEXO II

CUESTIONARIO
DE ENTREVISTA
PLANEADA

EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD EN LABORATORIOS QUÍMICOS

ENTREVISTA PLANEADA	
Dpto.:	Laboratorio:
Técnico/a:	Fecha:
Persona consultada:	
1. ¿Con qué sustancias trabaja usted a diario de manera habitual?	
2. De las sustancias anteriormente citadas, indique las cantidades aproximadas que, a diario, maneja:	
3. ¿Trabaja con productos que usted crea son especialmente peligrosos para su salud? Indique ¹ de 1 a 5 su valoración.	
4. Cite aquellas sustancias que usted considere más peligrosas de su laboratorio. De entre ellas, destaque las que maneja a diario.	
5. ¿Considera que las instalaciones de ventilación general o por extracción localizada de que dispone son adecuadas? Indique de 1 a 5 su valoración.	
6. ¿Considera que el mantenimiento de las instalaciones del laboratorio (Protección contra incendios, gases, electricidad, etc.) es adecuado? Indique su valoración de 1 a 5.	

Para aquellas respuestas en las que se solicita valoración, indique: 1: Poco adecuadas /nada/ ninguno, nunca 2: algo adecuadas/algunos, algunas veces. P 3: Adecuado/suficiente/bastantes, a menudo 4: Muy adecuadas / Muy buena/muchos 5 : Perfecta/ Inmejorable/demasiado

7. ¿Dispone de los medios para protegerse contra los riesgos de exposición a agentes químicos (Protección respiratoria, protección ocular y protección dérmica)? Indique de 1 a 5 su valoración.
8. ¿Se considera un trabajador formado en los riesgos que conlleva su puesto de trabajo? Indique de 1 a 5 su valoración.
9. Con respecto a las prácticas de higiene personal, ¿las tiene especialmente presentes en el trabajo diario?. Indique su valoración de 1 a 5.
10. Cite cualquier otro factor de riesgo relacionado con las sustancias químicas que le preocupe.

Para aquellas respuestas en las que se solicita valoración, indique: 1: Poco adecuadas /nada/ ninguno, nunca 2: algo adecuadas/algunos, algunas veces. P 3: Adecuado /suficiente/bastantes, a menudo 4: Muy adecuadas / Muy buena/muchos 5 : Perfecta/ Inmejorable/demasiado.

Información sobre protección de los datos de carácter personal

Acorde con la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, se le informa de:

- a) Que la recogida de estos datos se incorporará a los ficheros del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UGR con la finalidad de evaluar los riesgos para su seguridad y salud en este laboratorio.
- b) Sus respuestas son facultativas, no obligatorias.
- d) Puede ejercer los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición dirigiéndose al Director del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UGR en C/ Cuesta del Hospicio s/n, Universidad de Granada, 18017 Granada, expresando por escrito tal circunstancia.

ANEXO III

ANEXO III

SUSTANCIAS
QUÍMICAS EN
LOS
LABORATORIOS

LABORATORIO 1FCQ

Actividad: Biotecnología de Hongos y Síntesis de Moléculas Bioactivas

Productos Químicos usados a diario:

- n-Hexano
- Terbutilmetiléter
- Cloroformo (deuterado)
- Acetona
- THF (tetrahidrofurano) y diclorometano (Destilación)
- Benceno (para reacciones; consumo de 8 litros/año).

Productos Químicos almacenados:

- n-Hexano, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- Cloroformo, garrafa de 25 l. (1 unidad)
- Acetona, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- Diclorometano, garrafa de 25 l. (3 unidades)
- Etil acetato, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- Terbutilmetiléter, garrafa de 25 l. (2 unidades)

Productos Químicos en armarios de seguridad:

- Alcohol etílico (25 l.)
- Dietil éter (5 l.)
- Benceno (5 l.)
- Etil dietílico (20 l.)
- Butanol (5 l.)
- Dimetilsufóxido (5 l.)
- Alcohol butanol (5 l.)
- Tolueno (2 l.)
- Metanol (2 l.)
- Dimetilformaldeído (2 l.)
- Etanol (2 l.)
- Acetonitrilo (2 l.)
- Propanol-2 (2 l.)
- Terbutilmetiléter (2 l.)

Productos Químicos en armarios:

- Tetraclorido (2 l.) 1 unidad
- Tetrahidrofurano (2 l.) 4 unidades
- Tolueno (2 l.) 2 unidades
- Dioxan (2 l.) 1 unidad
- Éter (2 l.) 1 unidad
- Dimetilformamida (2 l.) 1 unidad
- Bromo acetal etílico (0.25 l.) 1 unidad
- Nitropropano (0.5 l.) 1 unidad
- Dimetilsulfóxido (1 l.) 1 unidad
- Vinilacetato (1 l.) 1 unidad
- Isobutil aldehído (2 l.) 1 unidad
- Alcohol etílico (1.5 l.) 1 unidad
- Bencilcloride (0.5 l.) 1 unidad

(Ácidos):

- Ac. Clorhídrico (1 l.) 2 unidades
- Anhídrido acético (1 l.) 1 unidad
- Ac. Sulfúrico (1 l.) 1 unidad
- Ac. Nítrico (2 l.) 1 unidad
- Ac. Acético glacial (1.5 l.) 1 unidad
- Ciclohexano (0.5 l.) 1 unidad
- Ac. Formido (1 l.) 1 unidad
- Cloruro acetilo (1 l.) 1 unidad

(Bases):

- Piridina (0.5 l.) 4 unidad
- Anilina (0.5 l.) 1 unidad
- Amoníaco (0.5 l.) 1 unidad
- Hexametil (0.5 l.) 1 unidad

Productos Químicos en mesas:

- ◆ Terbutilmetiléter (2 l.) 10 unidades
- ◆ n-Hexano (2 l.) 8 unidades
- ◆ Acetona (2 l.) 5 unidades

ANEXOS

- ◆ Cloruro de metileno (2 l.) 7 unidades
- ◆ Hexano recuperado (1 l.) 1 unidad
- ◆ Juniperusoxycedrus (1 l.) 1 unidad
- ◆ Tetracloruro de carbono (2 l.) 1 unidad
- ◆ Éter dietílico (2 l.) 2 unidades
- ◆ Benceno (1 l.) 1 unidad
- ◆ Tetrahidrofurano(2 l.) 2 unidades
- ◆ Acetona destilada (1 l.) 1 unidad
- ◆ Alcohol etílico (1.5 l.) 2 unidades
- ◆ Acetato de etilo (2 l.) 4 unidades
- ◆ Cloroformo (1 l.) 2 unidades
- ◆ Etilenglicol (1.5 l) 1 unidad
- ◆ Hidróxido sódico (1 l.) 2 unidades
- ◆ Etanol (2 l.) 8 unidades
- ◆ Ac. Clorhídrico (2 l.) 2 unidades
- ◆ Acetonitrilo (2 l.) 2 unidades

LABORATORIO 2FCQO

Actividad: Química de carbohidratos: síntesis, reactividad y diseño teórico.

Productos Químicos usados a diario:

- Cloroformo
- Acetato de etilo

Productos Químicos almacenados:

- Dietil éter, garrafa de 25 l. (3 unidades)
- N-Hexano, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- Acetona, garrafa de 25 l. (1 unidad)

Productos Químicos en armarios de seguridad:

- Cloroformo, 25 l.
- Tetrahidrofurano, 6 l.
- Benceno, 2 l.
- Metanol, 3 l.

ANEXOS

- Xileno, 1 l.
- Dioxan, 5 l.
- Dimetilformamida, 5 l.
- Acetato de etilo, 15 l.
- Dicloroetano, 1.5 l.
- Ciclohexano, 10 l.
- Piridina, 2l.
- Tolueno, 7.5 l.
- Acetonitrilo, 20 l.
- Diclorometano, 20 l.

Productos Químicos en armarios:

- Piridina 3 l.
- Anhídrido Acético 1 l.
- Amoníaco 3 l.
- Etanol 2 l.
- Metanol 2 l.
- Ac. Clorhídrico 2 l.
- Cloruro de metileno 2 l.
- Acetato etílico 2 l.

Productos Químicos en mesas (A):

- ◆ Acetato de etilo 2 l. (3 unidades)
- ◆ Acetonitrilo 2 l. (1 unidad)
- ◆ N-Hexano 3.5 l.
- ◆ Dicloroetano 1 l. (1 unidad)
- ◆ Terbutilmetiléter 2 l. (3 unidades)
- ◆ Ciclohexano 2.5 l (2 unidades)
- ◆ Dimetilsulfóxido 2 l. (2 unidades)
- ◆ Propanol 2 l. (2 unidades)
- ◆ Cloruro de metileno 0.5 l (1 unidad)
- ◆ Acetona 2 l. (2 unidades)

Productos Químicos en mesas (B):

- Benceno 1 l. (4 unidades)
- Tolueno 2.5 l. (2 unidades)

ANEXOS

- Acetona 1 l.
- Metanol 1 l.
- Sodio hidróxido 1 l.
- Tetracloruro de carbono 2 l. (2 unidades)
- Dimetilformamida 1 l. (3 unidades)
- Acetato de etilo 1 l. (2 unidades)
- Etanol 1 l.
- Acetonitrilo 1 l. (2 unidades)
- Cloruro de metileno 1 l. (3 unidades)
- Etil dietílico 1 l. (3 unidades)
- Cloroformo 1 l.
- Diclorometano 2.5 l.
- n-Hexano 2.5 l. (2 unidades)
- Amonio cloruro 1 l.
- Carbono potásico 1 l. (2 unidades)

LABORATORIO 3FCQO

Actividad: Biotecnología de Hongos y Química de productos naturales

Productos Químicos más usados:

- n-Hexano
- Acetato de etilo
- Cloruro de metileno
- Acetona

Productos Químicos almacenados:

- n-Hexano, bidón de 25 l. (10 unidades)
- Metanol, garrafa de 25 l. (1 unidad)
- Acetona, garrafa de 25 l. (4 unidades)
- Etanol 95%, garrafa de 25 l. (1 unidad)
- Cloruro de metileno, garrafa de 25 l. (9 unidades)
- Etil acetato, garrafa de 25 l. (3 unidades)

Productos Químicos en mesas:

- ◆ Fluoruro potásico 0.5 l. (2 unidades)
- ◆ Alcohol n-propine 2 l. (2 unidades)
- ◆ Etilenglicol 2 l. (1 unidad)
- ◆ Dietil éter 1 l. (3 unidades)
- ◆ Alcohol etílico 1 l. (3 unidades)
- ◆ Dimetilsulfóxido 2 l. (2 unidades)
- ◆ Dicloroetano 2 l. (2 unidades)
- ◆ Butanol terciario 2 l. (2 unidades)
- ◆ Piridina 2 l. (3 unidades)
- ◆ Propanol 2 l. (2 unidades)
- ◆ Sulfuro de carbono 2 l. (2 unidades)
- ◆ Tetracloroetileno 2 l. (1 unidad)
- ◆ Etanol absoluto 2 l. (2 unidades)
- ◆ Triclorometano 2 l. (2 unidades)
- ◆ Tolueno 2 l. (2 unidades)
- ◆ Dioxan 2 l. (2 unidades)
- ◆ Benceno 1 l. (2 unidades)
- ◆ Ac. Clorhídrico 2 l. (2 unidades)
- ◆ Ac. Nítrico 1.5 l. (2 unidades)
- ◆ Ac. Acético 0.5 l. (2 unidades)
- ◆ CH₂Cl₂ 1 l. (1 unidad)
- ◆ NaHCO₃ 1 l. (1 unidad)
- ◆ Acetato potasio 1 l. (3 unidades)
- ◆ Amonio hidróxido 1 l. (1 unidad)

LABORATORIO 4FCQO

Actividad: Laboratorio de Química Orgánica. Investigación en química orgánica.

Productos Químicos más usados a diario (en cantidad de Kgs o Litros):

- Acetona
- N-Hexano
- Terbutilmetiléter

Productos Químicos almacenados:

- Dietil éter, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- N-Hexano, garrafa de 25 l. (1 unidad)
- Acetona, garrafa de 25 l. (3 unidades)
- Diclorometano, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- Terbutilmetiléter, garrafa de 25 l. (2 unidades)
- CH₂CL₂, garrafa de 25 l. (1 unidad)

Productos Químicos en mesas :

- Etanol 2 l.
- Etil acetato 1 l.
- Benceno 2 l.
- Ac. Clorhídrico 1 l.
- N-Hexano 1 l. (10 unidades)
- Acetona 2 l. (3 unidades)
- Dimetilsulfato 1.5 l (2 unidades)
- HCL 1 l.
- Alcohol isopropílico 1 l.
- NaHCO₂ 1 l.
- Bisulfito 1 l.
- Cloruro de metileno 1 l.
- Ac. Clorhídrico 1 l. (2 unidades)
- NaOH 1 l. (2 unidades)
- Acetonitrilo 3 l. (2 unidades).

LABORATORIO 5FCB

Actividad: Investigación con Biomembranas

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Acetona
- N-Hexano
- Ac. Acético
- Líquido de centelleo
- Metanol

ANEXOS

- Éter
- Cloroformo
- Etanol

Otros Productos Químicos en estantería que se usan:

- Etanol 10 l.
- Ac. Acético 2.5 l.
- N-Hexano 5 l.
- Ac. Tricloroacético 2.5 l.
- Agua acidulada 1.5 l.
- Líquido centelleante 10 l.
- Isoctano (trimetilpentano) 1 l.
- Cl Na 9% 1 l.
- Cloroformo 12.5 l.
- Metanol 10 l.
- Propanol 0.5 l.
- Amoníaco 0.5 l.
- Acetona 2.5 l.
- Éter 2.5 l.

Productos Químicos en armario:

- Etanol 9 l.
- n-Hexano 2.5 l.
- Ac. Acético 2.5 l.
- Diclorometano 2.5 l.
- Propanol 7.5 l.
- Ac. Clorhídrico 1.5 l.
- Benzol 1 l.
- Alcohol isometílico 1 l.
- Etil acetato 1 l.
- Acetona 2 l.
- Dietiléter 3 l.
- Petróleo éter 1.5 l.
- Ac. Perclórico 1 l.
- Ac. Sulfúrico 2 l.

ANEXOS

- Alcohol n-butílico 1 l.
- Cloroformo 2.5 l.
- Alcohol n-propílico 1 l.
- Tolueno 2 l.
- Alcohol etílico 1 l.
- Sodio hidróxido 250gr.
- Sodio cloruro 1 kg.
- Ac. Nítrico 2 l.
- Ac. Sulfúrico 1 l.
- Tetrahidrofurano 3 l.
- Potasio hidróxido 0.5 l.
- Ac. Perclórico 0.5 l.
- Amoníaco 1 l.
- Dimetilsulfóxido 1 l.
- Propilenglicol 1 l.
- Anhídrido acético 1 l.
- Ac. Propiónico 0.5 l.
- Glicerina 0.4 l.
- Tetracloruro de carbono 1 l.

Productos Químicos en mesas:

- Líquido centelleante 3 l.
- Amoníaco 1 l.
- Cloroformo 2.5 l.
- Acetona 1.5 l.
- Cloroformo 1 l.
- Ac. Acético 1.5 l.
- Etanol 1l.
- Metanol 0.5 l

LABORATORIO 6FFQ

Actividad: Investigación en Química Farmacéutica 1

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- n-Hexano
- Acetato de etilo
- Cloruro de metileno
- Acetona
- Etanol
- Cloroformo
- Metanol
- Éter etílico
- N,N Dimetilformamida
- Dimetilsulfóxido
- N-Butanol
- Acetonitrilo
- Tetrahidrofurano
- Tetracloruro de carbono

El consumo es de aproximadamente: 500 l de diclorometano y 500 litros de cloroformo al año.

LABORATORIO 7FFQ

Actividad: Investigación en Química Farmacéutica 2

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- n-Hexano
- Cloruro de metileno
- Acetona
- Éter etílico
- Metanol

ANEXOS

- Etanol

Productos Químicos existentes en la estancia:

- n-Hexano (3 garrafas de 25 l.)
- Acetona (25 l.)
- Dietil éter (25 l.)
- Metanol (2 garrafas de 25 l.)
- Etanol (3 garrafas de 25 l.)

Los demás productos químicos se los proporciona el laboratorio de química farmacéutica 1.

LABORATORIO 8FMAP

Actividad: Laboratorio general

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Xileno
- Etanol

Productos químicos almacenados:

- Xileno: 10 litros
- Etanol: 6 litros

LABORATORIO 9FMAP

Actividad: Laboratorio Inmunoquímica y Biología Molecular

Productos Químicos más usados:

- Xileno
- Etanol
- Acetona
- Propanol
- Bromuro de etilio (localizado y controlado)
- Diaminobencidina

ANEXOS

- Éter etílico
- Cloroformo
- Metilacetato
- Etilen glicol
- Ácido Acético
- Nitrógeno

Suelen ser usados muy a menudo kits preparados como el de citrato, SS20, PBD, agua destilada, hidróxido sódico, ácido clorhídrico, azarosa, TBE5...

Productos químicos almacenados:

- Xileno: 15 l
- Etanol: 10 l
- Acetona: 5 l
- Propanol: 5 l
- Bromuro de etilio: 1 l
- Diaminobencidina: 1 l
- Éter etílico: 2 l
- Cloroformo: 1 l
- Metilacetato: 1 l
- Etilen glicol: 2 l
- Ácido Acético: 2 l
- Nitrógeno: 5 l

LABORATORIO 10FMAP

Actividad: Laboratorio Tallaje de muestras

Productos Químicos más usados:

- Formaldehido
- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico

Productos Químicos almacenados:

- Formaldehído: 10 litros
- Ácido clorhídrico: 2 litros
- Ácido nítrico: 2 litros

LABORATORIO 11FMAP

Actividad: Laboratorio Citología

Productos Químicos más usados:

- Xileno
- Etanol
- Papanicolau OG6OG6
- Metanol

Productos Químicos almacenados:

- Xileno: 20 l
- Etanol: 10 l
- Formalina al 10% tamponada: 1 l
- Alcohol isopropílico: 3 l
- Tolueno: 5 l
- Formol: 10 l
- Metanol: 2 l
- Acetona: 5 l
- Colorantes: 1 l
- Propanol: 2 l
- Metilacetato : 2 l
- Diaminobencidina: 3 l
- Bromuro de etilio: 2 l
- Englicol acético : 3 l
- Nitrógeno líquido: 5 l
- Hidróxido sódico: 1 Kg
- Ácido clorhídrico: 1 l
- Ácido nítrico: 1 l

ANEXOS

- Parafina: 1 l

LABORATORIO 12FMAP

Actividad: Laboratorio de Macroscopía

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

Formaldehído: 10000*litros/año

Etanol: 100 litros/ año

Xileno: 100 litros/año

Productos Químicos almacenados:

Formaldehído: 400 litros.

Etanol: 100 litros

Xileno: 50 litros.

LABORATORIO 13FMAP

Actividad: Laboratorio procesamiento de muestras

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros*:

Formaldehído

Etanol.

Xileno.

Productos Químicos almacenados:

Formaldehído: 10000 litros

Etanol: 100 litros

Xileno: 100 litros

LABORATORIO 14FMAP

Actividad: Laboratorio General de Histología y Citología

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

Cantidad Usada Anual:

Formaldehído: 10000 litros*

Etanol: 100 litros

Xileno: 100 l

Bromuro de Etidio: 18 l.

Cantidad Almacenada de productos químicos:*

Formaldehído: 400 l.

Etanol: 100 l

Xileno: 50 l.

Bomuro de Etidio: 2 l.

Estas cantidades, que se refieren al total del departamento, han sido facilitadas por componentes del Departamento

LABORATORIO 15FMAP

Actividad: Laboratorio de Fluorescencia y Biología Molecular

Cantidad Almacenada de productos químicos:*

Bomuro de Etidio: 2 l.

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

Bromuro de Etidio: 18 l / año

Estas cantidades se refieren al total del departamento. Han sido facilitadas por componentes del Departamento.

LABORATORIO 16FMAP

Actividad: Laboratorio de Histoquímica

Cantidad Almacenada de productos químicos:

Formaldehído:400 l

Etanol: 25 l

Xileno: 50 l

Tolueno: 50 l

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

Cantidad Usada Anual:

Formaldehído:10000 litros

Etanol: 100 litros

Xileno: 100 l

Estas cantidades se refieren al total del departamento han sido facilitadas por componentes del Departamento.

LABORATORIO 17FMAP

Actividad: Laboratorio de Molecular. Cultivo de tejidos.

Cantidad Almacenada de productos químicos:

Formaldehído:400 l

Etanol: 100

ANEXOS

Xileno: 50

Tolueno: 50

Diaminobencidina: 2 litros

Bromuro de Etidio: ND

Cantidad Usada Anual:

Formaldehído: 10000 l

Etanol: 150 l

Xileno: 100 l

Tolueno: 50 l

Diaminobencidina: 18 litros

Bromuro de Etidio: 10 l

Estas cantidades se refieren al total del departamento han sido facilitadas por componentes del Departamento.

LABORATORIO 18FMAP

Actividad: Laboratorio de Citología.

Cantidad Almacenada de productos químicos:

Formaldehído: 400 l

Etanol: 100

Xileno: 50

Cantidad Usada Anual:

Formaldehído: 10000 l

Etanol: 100 l

Xileno: 100 l

Estas cantidades se refieren al total del departamento. Han sido facilitadas por componentes del Departamento.

LABORATORIO 19FMAP

Actividad: Sala de Autopsias

Cantidad Almacenada de productos químicos:

Formaldehído: 400 l

Etanol: 100

Cantidad Usada Anual:

Formaldehído: 10000 l

Etanol: 15 l

Estas cantidades se refieren al total del departamento han sido facilitadas por componentes del Departamento.

LABORATORIO 20FMBQ

Actividad: Laboratorio de Proteínas y Lípidos

Cantidad Almacenada de productos químicos:

Éter: 10 litros*

Etanol: 50 litros*

Cantidad Usada Anual:

Formaldehído: 150 l

Etanol: 100 l

LABORATORIO 21FMBQ

Actividad: Laboratorio de Tecnología de Biología Molecular

Cantidad Almacenada de productos químicos:

ANEXOS

Ácido acético: 10 litros

Fenol: 2 litros

Bromuro de Etidio: 100 gramos

Cantidad Usada Anual:

Ácido acético: 1 litro/día

Bromuro de etidio: del orden de mg-gramos al día.

DPC: mg-gramos al día.

Fenol: 1 litro/día

SDS: mg-gramos al día.

LABORATORIO 22FMBQ

Actividad: Laboratorio de Neuroquímica

Cantidad Almacenada de productos químicos:

- Etanol: 10 litros
- Metanol: 15 litros
- Nitroanilina: 1 litro

Cantidad Usada Anual:

- Etanol: 100 litros
- Metanol: 150 litros
- Nitroanilina: 10 litros

LABORATORIO 23FMBQ

Actividad: Laboratorio de experimentación animal

Cantidad Almacenada de productos químicos*:

- Cloroformo: 2 litros.

ANEXOS

- Éter: 2 litros

Cantidad Usada Anual:

- Cloroformo: 5 litros
- Éter: 5 litros

LABORATORIO 24FMBQ

Actividad: Laboratorio de Neurobiología

Cantidad Almacenada de productos químicos:

- Formaldehído: 10 litros
- Xileno: 2 litros

Cantidad Usada Anual:

- Formaldehído: 20 litros
- Xileno: 20 litros

LABORATORIO 25FMBQ

Actividad: Laboratorio de Autoestimulación

Cantidad Almacenada de productos químicos:

No Procede

Cantidad Usada Anual:

No Procede

LABORATORIO 26FMBQ

Actividad: Laboratorio de Marcadores tumorales.

Cantidad Almacenada de productos químicos:

ANEXOS

No Procede

Cantidad Usada Anual:

No Procede

LABORATORIO 27FMBQ

Actividad: Laboratorio 2. SAS.

Cantidad Almacenada de productos químicos:

No Procede

Cantidad Usada Anual:

No Procede

LABORATORIO 28FMBQ

Actividad: Laboratorio de Inmunología.

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- A.Clorhídrico
- A.Sulfúrico
- Bromuro de etidio
- Éter

Cantidad Almacenada:

- A.Clorhídrico: 3 litros
- A.Sulfúrico: 10 litros
- Bromuro de etidio: 1000 gramos
- Éter: 1 litro

CantIdad Usada Año

ANEXOS

- A.Clorhídrico: 3 litros
- A.Sulfúrico: 10 litros
- Bromuro de etidio: 1000 gramos
- Éter: 1 litro

LABORATORIO 29FMBQ

Actividad: Laboratorio de Renina.

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Ácido clorhídrico: 0,2 l/día
- Etanol: 1 l/día

Cantidad Almacenada:

- Ácido clorhídrico: 5 l
- Etanol: 10 l

LABORATORIO 30FMBQ

Actividad: Radioimmuneassay (radio inmunoensayo). R.I.A.

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Bromuro de etidio; 1 l/semana
- Cloroformo
- Etanol
- Fenol
- Isopropanol

Cantidad Almacenada:

- Bromuro de etidio: 1 l

ANEXOS

- Cloroformo: 2 l
- Etanol: 5 l
- Fenol: 5 l
- Isopropanol: 5 l
- Etanol: 10 l

LABORATORIO 31FMBQ

Actividad: Salas de prácticas

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Ácido acético
- n-butanol
- ciclo-Hexano
- Etanol
- Metanol

LABORATORIO 32FMBQ

Actividad: Laboratorio de Farmacología.

En este laboratorio se realizan prácticas de biofísica como medidas de pH y pesadas. No podemos destacar sustancias químicas usadas.

LABORATORIO 33FMBQ

Actividad: Sección de Diabetes

Cantidad Almacenada de productos químicos:

No Procede

ANEXOS

Cantidad Usada Anual:

No Procede

LABORATORIO 34FMAEH

Actividad: Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.

Cantidad Almacenada (litros):

- Formol: 100
- Benceno: 10
- Etanol: 50
- Xilol: 20

Cant. Usada Año (l):

- Formol: 50
- Benceno: 10
- Etanol: 20
- Xilol: 50

LABORATORIO 35FMAEH

Actividad: Estudio morfológico de partes del cuerpo humano.

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Benceno
- Creosata
- Etanol
- Formaldehído
- Toluidina
- Xileno

LABORATORIO 36FMAEH

Actividad: estudio morfológico del cuerpo humano.

Productos Químicos más usados a diario en cantidades de Kgs o litros:

- Acetona
- Benceno
- Etanol
- Formaldehído
- Tolueno
- Xileno

LABORATORIO 37FMAEH

Actividad: Laboratorio de Investigación básica de Cardiología

Cantidad Almacenada (l):

- Acetona: 10
- Bromuro de etidio: 2
- Glicina: 5
- Metanol: 10
- Xileno: 6
- Mercaptoetanol: 5

LABORATORIO 38FMAEH

Actividad: Laboratorio de prácticas de disección.

Cantidad almacenada (Litros):

- Formaldehído: 10
- Etanol: 5

Cantidad diaria usada:

- Formaldehído: 5 L

LABORATORIO 39FCQA

Actividad: investigación sobre tecnología química aplicada a alimentos.

Cantidad Almacenada de productos químicos:

- Acetonitrilo: 2 litros
- Ácido sulfúrico: 10 litros
- Etanol: 5 litros
- Metanol: 5 litros
- Rhodamina 6-G: 100 gramos

Cantidad Usada Anual:

- Acetonitrilo: 20 litros
- Ácido sulfúrico: 50 litros
- Etanol: 25 litros
- Metanol: 25 litros
- Rhodamina 6-G: 1000 gramos

LABORATORIO 40FBBA

Actividad: Proceso mecánico de la imagen. Serigrafía, Pintura y restauración pictórica.

Los productos que se manejan de forma habitual son los siguientes:

- Aguarrás - esencia de trementina (α -Pino y β -Pino)
- óleo
- aceite de linaza
- cola de conejo

Cantidad Almacenada de productos químicos peligrosos*:

- Aguarrás (Nombre comercial 1): 5 litros
- Esencia de trementina (Nombre comercial 2): 6 litros

Cantidad Usada Anual:

- Aguarrás (Nombre comercial 1): 5 litros
- Esencia de trementina (Nombre comercial 2): 5 litros

Cálculo del índice global de riesgo, I_s , para cada sustancia.

Una vez se ha recogida la información para cada sustancia manejada en el laboratorio sobre las tres características descritas en el capítulo 3 donde se describe el método seguido: (grado de peligrosidad (V_r), la tendencia a pasar al ambiente (V_a) y la cantidad de sustancia empleada (V_c)), la tabla 12 de la página 120 indica los niveles de riesgo potencial I_s para cada sustancia. Se han considerado cuatro niveles, 1, 2, 3 y 4, a cada uno de los cuales corresponderá una condición de la variable relacionada con la sustancia manejada.

Una vez establecidos estos cuatro niveles de riesgo: 1, 2, 3 y 4, para todas y cada una de las sustancias manejadas en el laboratorio, a cada sustancia del nivel 1 le hemos asignado la clasificación de la condición de Índice de riesgo bajo, al nivel de riesgo 2, el índice de riesgo medio, al nivel 3 corresponde a Índice de riesgo alto y al nivel 4 el índice de riesgo muy alto.

Al estar directamente relacionadas las variables de peligrosidad, cantidad usada y pulverulencia /volatilidad con el elemento primario de concentración, la ponderación del índice es la máxima, es decir, 2.

El resultado final de " I_s " obtenido para cada sustancia se expone a continuación en la tabla A3.1

Tabla A3.1. Índice global de riesgo de las sustancias manejadas.

Sustancia	Vr	Va	Vc	Nivel de riesgo	Is
Acetato de etilo	A	M	M	1	2
Acetato de Metilo	A	A	M	2	4
Acetona	D	A	M	4	8
Acetonitrilo	C	M	M	3	6
Acido Acético	C	M	M	3	6
Ácido Nítrico	C	M	M	3	6
Ácido Clorhídrico	C	A	M	3	6
Ácido Sulfúrico	C	A	M	3	6
n-butanol	C	M	M	3	6
Bromuro de Etidio	E	As	P	4	8
Cloroformo	E	A	M	4	8
Cloroformo	E	A	P	4	8
Cloruro de metileno	C	A	M	4	8
Diaminobencidina	E	As	M	4	8
N,N Dimetilformamida	D	M	M	4	8
Dimetilsulfóxido	C	B	M	2	4
DPC	A	M	P	1	2(1)
Etanol	A	M	M	1	2
Éter Etílico	B	A	M	2	4
Éter Etílico	B	A	P	1	2
Etilen Glicol	D	B	M	3	6
Fenol	C	M	M	3	6
Formaldehido	E	M	M	4	8
n-Hexano	C	A	M	4	8
Metanol	C	A	M	3	6
Metanol	C	A	P	2	4
Nitroanilina	C	M	M	3	6
Nitroanilina	C	M	P	2	4
Nitrógeno	A	A	M	2	4
SDS	D	M	P	2	4(2)
Tetracloruro de carbono	D	M	M	4	8
Tetrahidrofurano	C	A	M	3	6
Tolueno	B	M	M	2	4
Xileno	A	M	M	1	2

(1) Para esta sustancia no se ha encontrado las frases de riesgo asociada. No obstante, se ha podido obtener la Ficha de Datos de Seguridad del mismo donde se evidencia que la peligrosidad del producto podría ir asociada a un nivel A (mínimo) de la clasificación establecida por el INSHT. Esta sustancia tiene un índice de peligrosidad "Is" de 2 en nuestro estudio.

ANEXOS

(2) Para esta sustancia no se ha encontrado frase de riesgo asociada. No obstante se ha podido obtener la MSDS (Ficha de datos de seguridad del Producto) donde se evidencia su carácter de probable cancerígeno y mutágeno en animales. Es por ello que se le ha asignado un valor de peligrosidad intrínseca de nivel D. En nuestro estudio, adquiere el valor de Is de 4.

donde:

Vr: es la variable relacionada con la peligrosidad y adopta la clasificación A; B; C; D; E. Según las frases “H”.

Va : es la variable relacionada con la tendencia a pasar al medio ambiente. Adopta la clasificación de A, Alta, M, Media y B, baja.

Vc: es la variable relacionada con la cantidad usada y adopta la clasificación de P, Pequeña, M, Media y G, Grande.

ANEXO IV

ANEXO IV
TOXICOLOGÍA EN
LOS LABORATORIOS
QUÍMICOS

A1. TOXICOLOGÍA APLICADA A LABORATORIOS

A1.1 introducción

La toxicología es la identificación y cuantificación de los efectos adversos asociados a la exposición a agentes físicos¹, sustancias químicas y otras situaciones. En ese sentido, la toxicología es tributaria, en materia de información, diseños de la investigación y métodos, de la mayoría de las ciencias biológicas básicas y disciplinas médicas, de la epidemiología y de determinadas esferas de la química y la física. La toxicología abarca desde estudios de investigación básica sobre el mecanismo de acción de los agentes tóxicos hasta la elaboración e interpretación de pruebas normalizadas para determinar las propiedades tóxicas de los agentes.

Aporta una importante información tanto a la medicina como a la epidemiología de cara a comprender la etiología de las enfermedades, así como sobre la plausibilidad de las asociaciones que se observan entre éstas y las exposiciones, incluidas las exposiciones profesionales. Cabe dividir la toxicología en disciplinas normalizadas, como la toxicología clínica, la forense, la de investigación y la reguladora; otra clasificación hace referencia a los sistemas o procesos orgánicos que se ven afectados, y tenemos entonces la inmunotoxicología o la toxicología genética; puede presentarse también desde el punto de vista de sus funciones, y entonces se habla de investigación, realización de ensayos y evaluación de los riesgos.

La toxicología es un componente crucial de las estrategias de prevención, pues proporciona información sobre peligros potenciales en los casos en que no hay una exposición humana amplia. Los métodos de la toxicología son asimismo muy utilizados por la industria en el desarrollo de productos, pues permiten obtener una información valiosa para el diseño de determinadas moléculas o formulaciones.

¹ Agentes físicos son aquellos contaminantes que pueden provocar daños a la salud al ser humano y que están en forma de energía en el entorno de la persona.

Los principios generales de la toxicología

Los primeros principios generales se refieren a la comprensión de las relaciones entre la exposición externa y la dosis interna.

En la terminología moderna, con “exposición” se hace referencia a las concentraciones o cantidad de una sustancia con que están en contacto los individuos o las poblaciones –las cantidades presentes en un determinado volumen de aire o de agua, o en una determinada masa de suelo. El término “dosis” se refiere a la concentración o cantidad de una sustancia que hay en el interior de una persona u organismo expuesto. En el ámbito de la salud laboral, las normas y directrices suelen expresarse en términos de exposición, o de concentraciones límite permisibles en situaciones concretas, como por ejemplo en el aire del lugar de trabajo. Esos límites de exposición se basan en hipótesis o informaciones sobre la relación entre la exposición y la dosis; no obstante, es frecuente que no se pueda obtener información sobre la dosis interna. Así, en muchos estudios sobre salud laboral, sólo cabe establecer asociaciones entre la exposición y la respuesta o efecto. En algunos casos se han establecido normas basadas en la dosis (por ejemplo, niveles permisibles de plomo en sangre o de mercurio en orina). Aunque estas medidas presentan una correlación más directa con la toxicidad, sigue siendo no obstante necesario, a efectos de controlar los riesgos, calcular retrospectivamente los niveles de exposición asociados con esos efectos.

Relaciones entre la exposición, la dosis y la respuesta.

La exposición tiene que ver con la captación, la absorción y la distribución (los procesos que determinan el transporte efectivo de las sustancias desde el medio externo hasta el cuerpo, por vías de entrada como la piel, los pulmones o el aparato digestivo). Esos procesos se sitúan en la interfase entre los seres humanos y su medio ambiente. En el caso de la dosis, se trata de factores relacionados con el metabolismo, se trata de comprender la forma en que el cuerpo hace frente a las sustancias que ha absorbido. Algunas sustancias se transforman mediante procesos metabólicos de la célula, que pueden incrementar o reducir su actividad biológica.

Para mejorar la interpretación de los datos toxicológicos se han elaborado los conceptos de órgano diana y efecto crítico.

Dependiendo de la dosis, la duración y la ruta de exposición, y también de factores del huésped como la edad, muchos agentes tóxicos pueden inducir diversos efectos en los órganos y organismos.

Una de las misiones principales de la toxicología es identificar el efecto o grupos de efectos importantes con miras a prevenir enfermedades irreversibles o debilitadoras. Una parte destacada de esa tarea es la identificación del órgano que se ve afectado en primer lugar o que se ve más afectado por un agente tóxico: es lo que se denomina el “órgano diana”. Una vez en el órgano diana es necesario identificar el hecho o hechos importantes que indican la intoxicación o daño, a fin de comprobar que el órgano se ha visto afectado más allá de su variabilidad normal. Es lo que se denomina el “efecto crítico”; puede ser el primer hecho en una sucesión de fases fisiopatológicas (como la excreción de proteínas de bajo peso molecular como efecto crítico en la toxicidad renal), o puede ser el efecto primero y potencialmente irreversible de un proceso patológico (como la formación de un aducto de ADN en la carcinogénesis).

Estos conceptos son importantes en el ámbito de la salud en el trabajo porque definen los tipos de toxicidad y la enfermedad clínica asociados con determinadas exposiciones, y en la mayoría de los casos la reducción de la exposición está orientada a prevenir no tanto cualquier tipo de efecto en cualquier órgano cuanto los efectos críticos en los órganos diana.

También existen importantes factores del huésped que afectan a muchos tipos de respuestas a muchos tipos de agentes tóxicos. Se trata de los determinantes genéticos, o factores heredados de susceptibilidad/resistencia, y de la edad, el sexo y otros factores como la dieta o la existencia simultánea de una enfermedad infecciosa. Esos factores pueden afectar también a la exposición y la dosis modificando la captación, la absorción, la distribución y el metabolismo. Como muchos de estos factores presentan variaciones en las poblaciones de trabajadores de todo el mundo, es esencial que los especialistas en salud en el trabajo y los encargados de formular las políticas comprendan la forma en que esos factores pueden contribuir a la variabilidad de las respuestas entre unas poblaciones y otras y entre individuos de una misma población. Estas consideraciones son especialmente importantes en las sociedades con

poblaciones heterogéneas. La variabilidad de las poblaciones humanas es un elemento que hay que tener en cuenta al evaluar los riesgos de las exposiciones profesionales y al extraer conclusiones racionales del estudio de organismos no humanos en las investigaciones o ensayos toxicológicos.

Desde la óptica mecanicista, los toxicólogos modernos estiman que todos los efectos tóxicos se manifiestan en primer lugar a nivel celular; por consiguiente, las respuestas celulares son las primeras indicaciones del contacto del cuerpo con un agente tóxico. Se considera además que esas respuestas comprenden toda una serie de hechos, desde la lesión hasta la muerte. Se denomina lesión celular a unos procesos específicos que utilizan las células, que es la unidad mínima de organización biológica dentro de los órganos, para responder al problema que se les plantea. Entre esas respuestas figuran cambios en la función de procesos celulares, como los de la membrana y su capacidad de captar, liberar o excluir sustancias, la síntesis dirigida de proteínas a partir de aminoácidos y el recambio de componentes celulares. Esas respuestas pueden ser comunes a todas las células lesionadas, o pueden ser específicas de determinados tipos de células pertenecientes a determinados sistemas orgánicos. La muerte celular es la destrucción de células de un sistema orgánico como consecuencia de una lesión celular irreversible o no compensada. Los agentes tóxicos pueden causar la muerte celular como un proceso agudo que se revela de varias maneras, como perjudicando la transferencia de oxígeno, pero otras veces la muerte celular es consecuencia de una intoxicación crónica. Después de la muerte celular puede producirse una sustitución en algunos sistemas orgánicos pero no en todos, aunque en algunas circunstancias la proliferación de células inducida por la muerte celular puede considerarse una respuesta tóxica. Aun cuando no hay muerte celular, las lesiones celulares reiteradas pueden inducir una tensión en los órganos que pone en peligro su función y que afecta a su descendencia. En la mayoría de los artículos sobre los mecanismos se analizan más los sistemas diana que los órganos diana. Esto refleja la práctica habitual de la toxicología y la medicina modernas, que no estudian tanto órganos aislados como sistemas orgánicos. Así, por ejemplo, la toxicología genética no se centra en los efectos tóxicos de los agentes sobre un órgano específico, sino más bien en el material genético como diana de la acción tóxica. Análogamente, en la inmunotoxicología se examinan los diversos órganos y células del sistema inmunitario como dianas de los agentes tóxicos.

A1.2. Toxicología .definiciones y conceptos²

Exposición, dosis y respuesta

Toxicidad es la capacidad intrínseca que posee un agente químico de producir efectos adversos sobre un órgano.

Xenobióticos. “Sustancias extrañas”, es decir, extrañas al organismo.

Lo contrario son los compuestos endógenos. Entre los xenobióticos figuran los fármacos, las sustancias químicas industriales, los venenos presentes en la naturaleza y los contaminantes del medio ambiente.

Peligro. La posibilidad de que la toxicidad sea efectiva en un contexto o situación determinados.

Riesgo. La probabilidad de que se produzca un efecto adverso específico. Suele expresarse como el porcentaje de casos de una población dada durante un determinado período de tiempo. La estimación del riesgo puede basarse en casos reales o en una proyección de casos futuros a partir de extrapolaciones.

Las expresiones *categorías de toxicidad* y *clasificación de la toxicidad* se utilizan a veces en el ámbito de las actividades de regulación.

Las categorías de toxicidad se refieren a una calificación arbitraria de las dosis o niveles de exposición que causan efectos tóxicos. Se habla así de “sumamente tóxico”, “muy tóxico”, “moderadamente tóxico”, etc. Lo más frecuente es que estas expresiones se apliquen a la toxicidad aguda.

La clasificación de la toxicidad se refiere a la agrupación de las sustancias químicas en categorías generales conforme a su efecto tóxico principal. Se habla así de sustancias alérgicas,

² Bo Holmberg, Johan Högborg y Gunnar Johanson: “Enciclopedia de seguridad y salud”. OIT.

neurotóxicas, carcinógenas, etc. Esta clasificación puede ser útil en el ámbito administrativo como advertencia y como información.

La *relación dosis-efecto* es la relación entre la dosis y el efecto a nivel individual. Un incremento de la dosis puede incrementar la intensidad de un efecto o su gravedad. Puede obtenerse una curva de dosis-efecto a nivel de todo el organismo, de la célula o de la molécula diana. Hay algunos efectos tóxicos, como la muerte o el cáncer, que no tienen grados, sino que son efectos “de todo o nada”.

La *relación dosis-respuesta* es la relación entre la dosis y el porcentaje de individuos que presentan un determinado efecto.

Al incrementarse la dosis lo normal es que aumente el número de individuos afectados en la población expuesta.

El establecimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta es esencial en toxicología. En los estudios médicos (epidemiológicos) suele utilizarse como criterio para aceptar una relación causal entre un agente y una enfermedad el hecho de que el efecto o la respuesta sean proporcionales a la dosis.

Pueden establecerse varias curvas de dosis-respuesta respecto de una misma sustancia química —una curva para cada tipo de efecto. En la mayoría de los efectos tóxicos (cuando se estudian en poblaciones grandes), la curva de dosis-respuesta tiene una forma sigmoidea. Hay por lo general un intervalo de dosis bajas en el que no se detecta respuesta alguna; al aumentar la dosis, la respuesta sigue una curva ascendente que normalmente llega a una meseta cuando la respuesta es del 100 %. La curva de dosis-respuesta refleja las variaciones entre individuos de una misma población. La pendiente de la curva varía según la sustancia química de que se trate y también entre los diferentes tipos de efectos. En el caso de algunas sustancias que tienen efectos específicos (carcinógenos, iniciadores, mutágenos) la curva de dosis-respuesta podría ser lineal desde la dosis cero dentro de un determinado intervalo de dosis. Esto significa que no hay un umbral y que hasta las dosis pequeñas representan un riesgo. Por encima de ese intervalo de dosis, el riesgo puede incrementarse a una tasa superior a la lineal.

La variación de la exposición a lo largo del día y la duración total de la exposición a lo largo de toda la vida del sujeto pueden ser importantes para el resultado (respuesta) ya sea como un nivel de dosis media, promediado o incluso integrado. Los picos de exposición muy altos pueden ser más nocivos que un nivel de exposición más uniforme. Así ocurre en el caso de algunos disolventes orgánicos. En el de algunas sustancias carcinógenas, en cambio, se ha demostrado experimentalmente que el fraccionamiento de una única dosis en varias exposiciones con la misma dosis total puede ser más eficaz en la producción de tumores.

La dosis suele definirse como la cantidad de un xenobiótico que entra en un organismo (en unidades como mg/kg de peso corporal). La dosis puede expresarse de diferentes maneras (más o menos informativas): dosis de exposición, que es la concentración en el aire del contaminante que se inhala durante un determinado período de tiempo (en el ámbito de la higiene industrial, normalmente ocho horas), o dosis absorbida o retenida (llamada también carga corporal en higiene industrial), que es la cantidad presente en el cuerpo en un determinado momento durante la exposición o después de ella. La dosis tisular es la cantidad de sustancia en un determinado tejido, y la dosis diana es la cantidad de sustancia (por lo general un metabolito) unida a la molécula crítica. La dosis diana puede expresarse en mg de sustancia química unida por mg de una determinada macromolécula del tejido. Para la aplicación de este concepto se precisa información sobre el mecanismo de la acción tóxica a nivel molecular. La dosis diana está asociada con más precisión al efecto tóxico. La dosis de exposición y la carga corporal pueden obtenerse con más facilidad, pero su relación con el efecto es menos precisa.

En el concepto de dosis se suele incluir un elemento temporal, aun cuando no se exprese siempre. Según la ley de Haber, la dosis teórica es $D = ct$, donde D es la dosis, c es la concentración del xenobiótico en el aire y t la duración de la exposición a la sustancia química. Cuando este concepto se utiliza al nivel de órganos o moléculas diana, puede utilizarse la cantidad por mg de tejido o de molécula en un período de tiempo determinado.

El aspecto temporal suele ser más importante para comprender las exposiciones reiteradas y los efectos crónicos que en el caso de las exposiciones únicas y los efectos agudos.

Se producen *efectos aditivos* cuando hay una exposición a una combinación de sustancias químicas en la que simplemente se suman las diversas toxicidades individuales ($1+1=2$). Cuando varias sustancias actúan a través del mismo mecanismo se presupone la aditividad de sus efectos, aunque no siempre ocurre así en la realidad. La interacción entre varias sustancias puede tener como resultado una inhibición (*antagonismo*), en la que el efecto es menor de lo que sería la suma de los efectos individuales ($1+1<2$). También puede ocurrir lo contrario, es decir, que una combinación de sustancias produzca un efecto mayor que la suma de los efectos individuales (mayor respuesta entre individuos o incremento de la frecuencia de respuesta en una población), y entonces se habla de *sinergismo* ($1+1>2$).

El *tiempo de latencia* es el tiempo que transcurre entre la primera exposición y la aparición de un efecto o respuesta observable. Esta expresión suele utilizarse en el caso de los efectos de los carcinógenos, en los que los tumores pueden aparecer mucho tiempo después del comienzo de la exposición y a veces mucho tiempo después de que ésta haya cesado.

Un *umbral de dosis* es un nivel de la dosis por debajo del cual no hay ningún efecto observable. Se cree que existen umbrales en el caso de determinados efectos, como los efectos tóxicos agudos, pero no en el de otros, como los efectos carcinógenos (por iniciadores de la formación de aductos de ADN). No obstante, la mera ausencia de respuesta en una población dada no debe entenderse como prueba de la existencia de un umbral. La ausencia de respuesta podría deberse a sencillos fenómenos estadísticos: es posible que un efecto adverso que se produce con baja frecuencia no sea detectable en una población pequeña.

La DL50 (dosis letal) es la dosis que produce una mortalidad del 50 % en una población animal. La DL50 solía considerarse en la bibliografía más antigua como una medida de la toxicidad aguda de las sustancias químicas. A mayor DL50, menor toxicidad aguda. De una sustancia química muy tóxica (con una DL50 baja) se dice que es *potente*. No hay una correlación necesaria entre la toxicidad aguda y la toxicidad crónica. La DE50 (dosis efectiva) es la dosis que produce en el 50 % de los animales un efecto específico no letal.

El *NOEL (NOAEL)* es el nivel sin efecto (adverso) observado, o la dosis más alta que no produce efecto tóxico. Para establecer un NOEL se necesitan múltiples dosis, una población amplia e información complementaria para garantizar que la ausencia de respuesta no es un

mero fenómeno estadístico. El LOEL es la mínima dosis efectiva observada en una curva de dosis-respuesta, (es decir, la dosis mínima) que produce un efecto.

Un *factor de seguridad* es un número convencional, arbitrario, por el que se divide el NOEL o el LOEL obtenidos en experimentos con animales para establecer una dosis permisible provisional en los seres humanos. Suele utilizarse en la esfera de la toxicología alimentaria, pero puede emplearse también en la toxicología laboral. A veces se utiliza también un factor de seguridad para extrapolar a poblaciones mayores datos obtenidos en poblaciones pequeñas. Los factores de seguridad van de 100 a 103. Típicamente, un factor de seguridad de 2 puede ser una protección suficiente contra efectos menos graves (como la irritación), mientras que en efectos muy graves (como el cáncer) puede utilizarse hasta un factor de 1.000. Sería conveniente sustituir la expresión *factor de seguridad* por *factor de protección* o incluso por *factor de incertidumbre*. Ello reflejaría mejor las incertidumbres científicas, como si datos de dosis-respuesta exactos pudieran trasladarse de animales a seres humanos para una determinada sustancia química, efecto tóxico o circunstancia de exposición.

Las *extrapolaciones* son estimaciones teóricas, cualitativas o cuantitativas, de la toxicidad (extrapolaciones del riesgo) que se obtienen trasladando datos de una especie a otra o bien una serie de datos de dosis-respuesta (generalmente en el intervalo de dosis altas) a zonas de la dosis-respuesta sobre las que no existen datos. Por lo general han de hacerse extrapolaciones para predecir las respuestas tóxicas fuera del intervalo de observación.

Para las extrapolaciones se elaboran modelos matemáticos que se basan en el conocimiento del comportamiento de la sustancia química en el organismo (modelos toxicocinéticos) o en el conocimiento de las probabilidades estadísticas de que se produzcan determinados hechos biológicos (modelos biológicos o mecanicistas). Algunos organismos nacionales han elaborado complejos modelos de extrapolación como método formalizado de predecir riesgos con fines de regulación.

Los *efectos sistémicos* son efectos tóxicos que se producen en tejidos alejados de la ruta de absorción.

El *órgano diana* es el órgano principal o más sensible afectado tras la exposición. Una misma sustancia química que entra en el cuerpo por diferentes rutas de exposición, tasa de dosis, sexo y

especie puede afectar a diferentes órganos diana. La interacción entre las sustancias químicas, o entre las sustancias químicas y otros factores, puede afectar también a diferentes órganos diana. Los *efectos agudos* son los que se producen tras una exposición limitada y poco tiempo después de ésta (horas, días), y pueden ser reversibles o irreversibles.

Los *efectos crónicos* se producen tras una exposición prolongada (meses, años, decenios) y/o persisten después de que haya cesado la exposición.

La *exposición aguda* es una exposición de corta duración, mientras que la *exposición crónica* es una exposición de larga duración (a veces toda la vida).

La *tolerancia* a una sustancia química es el fenómeno que se produce cuando repetidas exposiciones tienen como resultado una respuesta más baja de la que sería de esperar sin tratamiento previo.

Captación y disposición

Procesos de transporte

Difusión. Para entrar en el organismo y llegar al lugar en el que producen el daño, las sustancias extrañas han de atravesar varias barreras, entre ellas las células y sus membranas. La mayoría de las sustancias tóxicas atraviesa las membranas pasivamente, por difusión. Por este proceso, las moléculas hidrosolubles pequeñas pasan por los canales acuosos, y las moléculas liposolubles se disuelven en la parte lipídica de la membrana y después la atraviesan por difusión. El etanol, que es una pequeña molécula hidro y liposoluble, se difunde rápidamente a través de las membranas celulares.

Difusión de ácidos y bases débiles. Los ácidos y bases débiles pueden atravesar fácilmente las membranas en su forma liposoluble no ionizada, mientras que las formas ionizadas son demasiado polares para pasar. El grado de ionización de estas sustancias depende del pH. Si entre un lado y otro de una membrana hay un gradiente de pH, se acumularán en sólo uno de los lados. La excreción urinaria de los ácidos y bases débiles depende en gran medida del

pH de la orina. El pH fetal o embrionario es algo más alto que el pH materno, lo que produce una ligera acumulación de ácidos débiles en el feto o embrión.

Difusión facilitada. El paso de una sustancia puede verse facilitado por transportadores presentes en la membrana. La difusión facilitada se asemeja a los procesos enzimáticos en que se produce con la mediación de una proteína y en que es muy selectiva y saturable. Hay otras sustancias que pueden inhibir el transporte facilitado de los xenobióticos.

Transporte activo. Algunas sustancias atraviesan las membranas celulares mediante un transporte activo. Ese transporte se realiza con la mediación de proteínas transportadoras en un proceso análogo al de las enzimas. El transporte activo es similar a la difusión facilitada, pero puede producirse en contra de un gradiente de concentración. Necesita un aporte de energía, y un inhibidor metabólico puede bloquear el proceso. Los contaminantes ambientales casi nunca se transportan activamente. Una excepción es la secreción y reabsorción activas de metabolitos ácidos en los túbulos renales.

La *fagocitosis* es un proceso en virtud del cual células especializadas, como los macrófagos, capturan (“engloban”) partículas y después las digieren. Esta modalidad de transporte desempeña un papel importante por ejemplo en la eliminación de partículas de los alveolos.

Transporte en los flujos corporales. Las sustancias se mueven asimismo por el cuerpo con el movimiento del aire en el sistema respiratorio durante la respiración y con los movimientos de la sangre, la linfa o la orina.

Filtración. Debido a la presión hidrostática u osmótica, grandes cantidades de agua atraviesan los poros del endotelio. Todo soluto que sea suficientemente pequeño se filtrará junto con el agua. Hay cierto nivel de filtración en el lecho de capilares de todos los tejidos, pero es importante sobre todo en la formación de la orina primaria en el glomérulo renal.

Absorción

La absorción es el paso de una sustancia del medio ambiente al organismo. Por lo general se entiende no sólo como el hecho de atravesar la barrera tisular sino también como su llegada ulterior a la circulación sanguínea.

Absorción pulmonar. Los pulmones son la principal ruta de depósito y absorción de pequeñas partículas suspendidas en el aire, gases, vapores y aerosoles. En el caso de los gases y vapores muy hidrosolubles, una parte importante de la absorción se produce en la nariz y el árbol respiratorio, pero en el caso de las sustancias menos solubles se produce principalmente en los alveolos pulmonares. Los alveolos poseen una superficie enorme (alrededor de 100 m² en los humanos). Además, la barrera de difusión es sumamente pequeña, sólo dos delgadas capas de células y una distancia de micras entre el aire alveolar y la circulación sanguínea sistémica. Ello hace que los pulmones sean un órgano muy eficiente para el intercambio no sólo de oxígeno y dióxido de carbono, sino también de otros gases y vapores. En general, la difusión por la pared alveolar es tan rápida que no limita la captación. La velocidad de absorción, sin embargo, depende más del flujo (ventilación pulmonar, gasto cardíaco) y de la solubilidad (coeficiente de reparto sangre/aire). Otro factor importante es la eliminación metabólica. La importancia relativa de estos factores en la absorción pulmonar varía mucho según la sustancia de que se trate. La actividad física tiene como consecuencia un aumento de la ventilación pulmonar y del gasto cardíaco, y un descenso del riego sanguíneo en el hígado (y por ende de la velocidad de biotransformación). En el caso de muchas sustancias inhaladas ello hace que aumente notablemente la absorción pulmonar.

Absorción percutánea.

La piel es una barrera muy eficiente. Aparte de su función termorreguladora, protege al organismo de los microorganismos, la radiación ultravioleta y otros agentes nocivos, y también de la pérdida de agua excesiva. La distancia de difusión en la dermis es del orden de décimas de milímetro. Además, la capa de queratina opone mucha resistencia a la difusión de la mayoría de las sustancias. No obstante, en el caso de algunas sustancias suele producirse una absorción dérmica significativa con resultado de toxicidad —sustancias liposolubles muy tóxicas como por

ejemplo los insecticidas organofosforados y los disolventes orgánicos. Lo más frecuente es que esa absorción significativa se produzca como consecuencia de la exposición a sustancias líquidas. La absorción percutánea de vapores puede ser importante en el caso de los disolventes con presión de vapor muy baja y gran afinidad por el agua y la piel.

Absorción gastrointestinal. Se produce tras la ingestión accidental o deliberada de las sustancias. A veces se tragan partículas de mayor tamaño originalmente inhaladas y depositadas en el tracto respiratorio, de donde llegan a la faringe por transporte mucociliar. Prácticamente todas las sustancias solubles se absorben de manera eficiente desde el tracto gastrointestinal. El bajo pH del intestino puede facilitar por ejemplo la absorción de los metales.

Otras rutas. En los ensayos de toxicidad y otros experimentos pueden utilizarse, por razones de comodidad, rutas de administración especiales que son muy poco frecuentes y por lo general no se dan en la exposición profesional. Entre esas rutas figuran las inyecciones intravenosas (IV), subcutáneas (sc), intraperitoneales (ip) e intramusculares (im). En general, las sustancias se absorben más deprisa y de manera más completa por esas rutas, especialmente por la inyección IV. Ello hace que se produzcan breves pero importantes picos de concentración que pueden incrementar la toxicidad de una dosis.

Distribución

La distribución de una sustancia dentro del organismo es un proceso dinámico que depende de las velocidades de absorción y eliminación, así como del flujo sanguíneo en los diferentes tejidos y de las afinidades de éstos por la sustancia. Las moléculas hidrosolubles pequeñas no cargadas, los cationes monovalentes y la mayoría de los aniones se difunden con facilidad y acaban por conseguir una distribución relativamente uniforme por todo el cuerpo.

El *volumen de distribución* es la cantidad de una sustancia que hay en el cuerpo en un momento determinado dividida por la concentración en la sangre, el plasma o el suero en ese momento. Este valor no tiene nada que ver con el volumen físico, pues muchas sustancias no se distribuyen de manera uniforme por el organismo. Un volumen de distribución inferior a 1 l/kg de peso corporal indica una distribución preferencial en la sangre (o en el suero o en el plasma),

mientras que los valores superiores a 1 indican una preferencia por los tejidos periféricos, como el tejido adiposo en el caso de las sustancias liposolubles.

La *acumulación* es la retención de una sustancia en un tejido o en un órgano a unos niveles superiores a los de su concentración en la sangre o el plasma. Puede tratarse también de una acumulación gradual en el organismo a lo largo del tiempo.

Muchos xenobióticos son muy liposolubles y tienden a acumularse en el tejido adiposo, mientras que otros tienen una especial afinidad por el hueso. En el hueso, por ejemplo, el calcio puede intercambiarse por cationes de plomo, estroncio, bario y radio, mientras que los grupos hidroxilo pueden intercambiarse por flúor.

Barreras. Los vasos sanguíneos del cerebro, los testículos y la placenta tienen unas características anatómicas especiales que inhiben el paso de las moléculas grandes, como las proteínas. Esas características, que suelen denominarse barreras hematoencefálica, hematotesticular y hematoplacentaria, pueden dar la falsa impresión de que impiden el paso de cualquier sustancia, pero la realidad es que tienen poca o ninguna importancia en el caso de los xenobióticos capaces de atravesar por difusión las membranas celulares.

Unión a la sangre. Las sustancias pueden unirse a los glóbulos rojos o a componentes del plasma, o pueden estar también en forma libre en la sangre. El monóxido de carbono, el arsénico, el mercurio orgánico y el cromo hexavalente tienen una gran afinidad por los glóbulos rojos, mientras que el mercurio inorgánico y el cromo trivalente prefieren las proteínas plasmáticas.

Hay otras sustancias que también se unen a las proteínas del plasma. Sólo la fracción libre puede llegar por filtración o difusión a los órganos de eliminación. Por consiguiente, la unión a la sangre puede incrementar el tiempo de retención de una sustancia en el organismo y sin embargo reducir su captación por los órganos diana.

Eliminación

La *eliminación* es la desaparición de una sustancia del cuerpo. Puede consistir en su excreción al exterior del organismo o en su transformación en otras sustancias que no son captadas por un determinado método de medición. La velocidad de desaparición puede expresarse mediante la constante de eliminación, la vida media biológica o el aclaramiento.

Curva de concentración-tiempo. La curva de concentración en sangre (o plasma) en relación con el tiempo es una forma cómoda de describir la captación de un xenobiótico por el organismo y su desaparición de él.

El *área bajo la curva* (ABC) es la integral de la concentración en la sangre (plasma) a lo largo del tiempo. Cuando no hay saturación metabólica u otros procesos no lineales, la ABC es proporcional a la cantidad de sustancia absorbida. La *vida media biológica* (o vida media) es el tiempo que se necesita, a partir del momento en que cesa la exposición, para reducir a la mitad la cantidad presente en el organismo. Como muchas veces es difícil valorar la cantidad total de una sustancia, se emplean métodos de medición como la concentración en sangre (plasma). El concepto de vida media debe utilizarse con prudencia, ya que ésta puede modificarse, por ejemplo, con la dosis y la duración de la exposición. Además, muchas sustancias poseen complejas curvas de declinación, con varias vidas medias.

La *biodisponibilidad* es la fracción de una dosis administrada que entra en la circulación sistémica. Cuando no hay aclaramiento presistémico, o *metabolismo de primer paso*, la fracción es 1.

En la exposición oral, el aclaramiento presistémico puede deberse al metabolismo en el contenido gastrointestinal, las paredes intestinales o el hígado. El metabolismo de primer paso reduce la absorción sistémica de la sustancia y en cambio incrementa la absorción de sus metabolitos. Ello puede hacer que se modifique el cuadro de toxicidad.

El *aclaramiento* es el volumen de sangre (plasma) por unidad de tiempo del que se ha eliminado por completo una sustancia.

Para distinguirlo del aclaramiento renal, se suele hablar por ejemplo de aclaramiento total, metabólico o sanguíneo (plasmático).

El *aclaramiento intrínseco* es la capacidad que poseen las enzimas endógenas de transformar una sustancia, y se expresa también en volumen por unidad de tiempo. Si el aclaramiento intrínseco de un órgano es muy inferior al flujo sanguíneo, se dice que el metabolismo está limitado por la capacidad. A la inversa, si el aclaramiento intrínseco es muy superior al flujo sanguíneo, se dice que el metabolismo está limitado por el flujo.

Excreción

La excreción es la salida del organismo de una sustancia y de sus productos de biotransformación.

Excreción en la orina y la bilis. El principal órgano excretor es el riñón. Algunas sustancias, especialmente los ácidos de alto peso molecular, se excretan con la bilis. Una fracción de las sustancias biliares excretadas puede reabsorberse en el intestino. Este proceso, denominado *circulación enterohepática*, es habitual en las sustancias conjugadas tras la hidrólisis intestinal del conjugado.

Otras rutas de excreción. Algunas sustancias, como los disolventes orgánicos y productos de descomposición como la acetona, son lo suficientemente volátiles para que una fracción considerable pueda excretarse en el aire espirado después de la inhalación.

Pequeñas moléculas hidrosolubles y también liposolubles se segregan fácilmente al feto a través de la placenta y a la leche en los mamíferos. Para la madre, la lactancia puede ser una ruta excretora cuantitativamente importante en el caso de sustancias liposolubles persistentes. Los hijos pueden estar expuestos secundariamente a través de la madre durante el embarazo y durante la lactancia. Los compuestos hidrosolubles pueden excretarse hasta cierto punto en el sudor y la saliva, pero estas rutas son en general de escasa importancia. No obstante, como se produce y se traga un gran volumen de saliva, la excreción por esta vía puede contribuir a la

reabsorción del compuesto. Algunos metales como el mercurio se excretan uniéndose de manera permanente a los grupos sulfhidrilo de la queratina presente en el pelo.

Modelos toxicocinéticos

Los modelos matemáticos son instrumentos importantes para entender y describir la captación y disposición de sustancias extrañas. Estos modelos son en su mayoría compartimentales, es decir, representan al organismo dividido en uno o más compartimentos.

Un compartimento es un volumen química y físicamente teórico en el que se supone que la sustancia se distribuye de manera homogénea e instantánea. Los modelos sencillos pueden expresarse como una suma de términos exponenciales, mientras que los más complicados exigen efectuar procedimientos numéricos en ordenador para resolverlos. Los modelos pueden subdividirse en dos categorías: descriptivos y fisiológicos.

En los *modelos descriptivos*, el ajuste a los datos medidos se realiza modificando los valores numéricos de los parámetros del modelo o incluso la propia estructura de éste. La estructura del modelo normalmente tiene poco que ver con la estructura del organismo. Las ventajas del enfoque descriptivo son que se realizan pocos supuestos y que no se necesitan datos adicionales.

Un inconveniente es que no son demasiado útiles para efectuar extrapolaciones.

Los *modelos fisiológicos* se construyen a partir de datos fisiológicos y anatómicos y otros datos independientes. Después el modelo se depura y se valida mediante su comparación con datos experimentales. Una ventaja de los modelos fisiológicos es que pueden utilizarse para realizar extrapolaciones. Por ejemplo, puede predecirse la influencia de la actividad física en la captación y disposición de sustancias inhaladas a partir de ajustes fisiológicos conocidos de la ventilación y el gasto cardíaco. Un inconveniente es que requieren una gran cantidad de datos independientes.

Biotransformación

La *biotransformación* es un proceso que lleva a una conversión metabólica de los compuestos extraños (xenobióticos) presentes en el organismo. Suele denominarse también metabolismo de xenobióticos. Por regla general, el metabolismo convierte los xenobióticos liposolubles en grandes metabolitos hidrosolubles que pueden excretarse con facilidad. La biotransformación se realiza principalmente en el hígado. Todos los xenobióticos captados en el intestino son transportados al hígado por un único vaso sanguíneo (la *vena porta*).

Cuando se capta en pequeñas cantidades, una sustancia extraña puede metabolizarse completamente en el hígado antes de llegar a la circulación general y a otros órganos (efecto de primer paso). Los xenobióticos inhalados se distribuyen por la circulación general hasta llegar al hígado. En ese caso sólo se metaboliza en el hígado una fracción de la dosis antes de llegar a otros órganos. Las células hepáticas contienen diversas enzimas que oxidan los xenobióticos. Por lo general, esa oxidación activa el compuesto —lo hace más reactivo que la molécula precursora. En la mayoría de los casos, el metabolito oxidado vuelve a ser metabolizado por otras enzimas en una segunda fase. Esas enzimas conjugan el metabolito con un sustrato endógeno, de manera que la molécula se hace más grande y más polar, lo cual facilita la excreción. También en otros órganos como el pulmón y el riñón hay enzimas que metabolizan los xenobióticos. En esos órganos pueden desempeñar funciones específicas y cualitativamente importantes en el metabolismo de determinados xenobióticos. A veces metabolitos formados en un órgano se metabolizan aún más en otro. También pueden participar en la biotransformación las bacterias intestinales.

Los metabolitos de xenobióticos pueden excretarse por los riñones o a través de la bilis. Pueden exhalarse también a través de los pulmones, o unirse a moléculas endógenas del organismo.

Entre biotransformación y toxicidad hay una relación compleja. Puede entenderse la biotransformación como un proceso necesario para la supervivencia. Protege al organismo de la toxicidad impidiendo que se acumulen en él sustancias nocivas. Sin embargo, en ese proceso pueden formarse, como productos intermedios, metabolitos reactivos que son potencialmente nocivos. Este fenómeno se denomina activación metabólica.

De esta manera, la biotransformación puede también inducir toxicidad. Metabolitos intermedios oxidados que no se conjugan pueden unirse a estructuras celulares y dañarlas.

Cuando por ejemplo un metabolito de xenobiótico se une al ADN puede inducirse una mutación.

Si el sistema de biotransformación está sobrecargado, puede producirse una destrucción masiva de proteínas esenciales o de membranas lipídicas. Y ello puede desembocar en muerte celular (véase “Lesión celular y muerte celular”). *Metabolismo* es una palabra que suele utilizarse indistintamente con biotransformación. Indica las reacciones químicas de descomposición o síntesis que se producen en el cuerpo gracias a

la acción catalizadora de las enzimas. En el organismo se metabolizan los nutrientes procedentes de los alimentos, los compuestos endógenos y los xenobióticos. Se habla de *activación metabólica* cuando un compuesto menos reactivo se convierte en una molécula más reactiva. Este fenómeno se da generalmente durante las reacciones de la Fase 1.

Se habla de *desactivación metabólica* cuando una molécula activa o tóxica se convierte en un metabolito menos activo. Este fenómeno se da generalmente durante las reacciones de la Fase 2. En algunos casos un metabolito desactivado puede reactivarse, por ejemplo mediante escisión enzimática.

Las *reacciones de la Fase 1* son el primer paso en el metabolismo de los xenobióticos. Suelen consistir en la oxidación del compuesto. Por lo general, la oxidación hace que el compuesto sea más hidrosoluble y facilita las reacciones ulteriores.

Las *enzimas citocromo P450* son un grupo de enzimas que oxidan preferentemente los xenobióticos en reacciones de la Fase 1. Estas enzimas están especializadas en hacer frente a determinados grupos de xenobióticos que poseen determinadas características. También utilizan como sustratos moléculas endógenas.

Las enzimas citocromo P450 son inducidas por los xenobióticos de una manera específica. La obtención de datos sobre la inducción del citocromo P450 puede proporcionar información de la naturaleza de exposiciones anteriores (véase “Determinantes genéticos de la respuesta tóxica”). Por *reacciones de la Fase 2* se entiende el segundo paso del metabolismo de

los xenobióticos. Suelen consistir en que el compuesto oxidado se conjuga con una molécula endógena, es decir, se acopla a ella. Esta reacción incrementa aún más su hidrosolubilidad. Muchos metabolitos conjugados se excretan activamente en el riñón.

Las *transferasas* son un grupo de enzimas que catalizan reacciones de la Fase 2. Conjugan los xenobióticos con compuestos endógenos como el glutatión, aminoácidos, el ácido glucurónico o sulfatos.

El *glutatión* es una molécula endógena, un tripéptido, que se conjuga con xenobióticos en reacciones de la Fase 2. Está presente en todas las células (y en altas concentraciones en las células hepáticas) y suele ofrecer protección contra xenobióticos activados. Cuando el glutatión se agota pueden producirse reacciones tóxicas entre metabolitos xenobióticos activados y proteínas, lípidos o ADN.

Se habla de *inducción* cuando enzimas que participan en la biotransformación intensifican su actividad o aumentan en cantidad como respuesta a la exposición a xenobióticos. En algunos casos, al término de unos pocos días la actividad enzimática puede haberse multiplicado varias veces. La inducción suele estar equilibrada, de manera que las reacciones de la Fase 1 y de la Fase 2 se incrementan simultáneamente. Ello puede llevar a una biotransformación más rápida y puede explicar la tolerancia. A la inversa, una inducción desequilibrada puede aumentar la toxicidad.

Puede haber una *inhibición* de la biotransformación cuando dos xenobióticos son metabolizados por la misma enzima. Los dos sustratos tienen que competir entre sí, y por lo general uno de ellos es el elegido. En ese caso el segundo sustrato no se metaboliza, o sólo se metaboliza lentamente. Como en el caso de la inducción, la inhibición puede incrementar o reducir la toxicidad.

La *activación del oxígeno* es un fenómeno que pueden desencadenar los metabolitos de determinados xenobióticos. Pueden autooxidarse bajo la producción de especies de oxígeno activado.

Esas especies derivadas del oxígeno, entre las que figuran el superóxido, el peróxido de hidrógeno y el radical hidroxilo, pueden dañar el ADN y lípidos y proteínas de las células. La activación del oxígeno interviene también en los procesos inflamatorios.

Se observa una *variabilidad genética* entre individuos en muchos genes que codifican enzimas de la Fase 1 y la Fase 2. La variabilidad genética puede explicar por qué determinados individuos son más susceptibles que otros a los efectos tóxicos de los xenobióticos.

A1.3. Clasificación de sustancias peligrosas

Las propiedades toxicológicas de las sustancias químicas se pueden usar para clasificarlas, así se considerarán peligrosas las siguientes sustancias y preparados³:

Agentes cancerígenos

Agente cancerígeno es:

a) Una sustancia o preparado clasificado como cancerígeno de 1ª o 2ª categoría en la normativa relativa a clasificación, envasado y etiquetado de sustancias y preparados peligrosos, de tal manera que, y según R.D. 365/1995:

Cancerígeno de 1ª categoría son sustancias que, se sabe, son carcinogénicas para el hombre. Se dispone de elementos suficientes para establecer la existencia de una relación de causa / efecto entre la exposición del hombre a tales sustancias y la aparición del cáncer.

Cancerígeno de 2ª categoría son sustancias que pueden considerarse como carcinogénicas para el hombre. Se dispone de suficientes elementos para suponer que la exposición del hombre a tales sustancias puede producir cáncer. Dicha presunción se fundamenta en:

- Estudios apropiados a largo plazo en animales,
- Otro tipo de información pertinente.

³ Acorde con la clasificación establecida en el Real Decreto 717/2010, de 28 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas y el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.

b) O bien una sustancia, un preparado o un procedimiento de entre los siguientes:

- 1) Fabricación de auramina.
- 2) Trabajos que supongan la exposición a los hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en el hollín, el alquitrán o la brea de hulla.
- 3) Trabajos que supongan la exposición al polvo, al humo o a las nieblas producidas durante la calcinación y el afinado eléctrico de las matas de níquel.
- 4) Procedimiento con ácido fuerte en la fabricación de alcohol isopropílico.

O sustancia o preparado que se produzca durante uno de los procedimientos mencionados anteriormente.

Llevan asignada la siguiente frase de riesgo: T; R45, y/o T; R49.

Sustancias mutagénicas son las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir alteraciones genéticas hereditarias o aumentar su frecuencia.

Llevan asignada la siguiente frase de riesgo: T; R46.

Agentes tóxicos para la reproducción, sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia de estos, o afectar de forma negativa a la función o a la capacidad reproductora.

Los agentes “sensibilizantes” son agentes que pueden provocar, así mismo, sensibilizaciones en ciertos individuos, incluso trabajando en ambientes cuya concentración ambiental pueda estar por debajo de los valores límite de exposición.

Son sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, puedan ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado de lugar a efectos negativos característicos.

Llevan asignadas la frase de riesgo R42, R43.

Sustancias muy tóxicas son las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración por la piel en muy pequeña cantidad puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.

Sustancias tóxicas son las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración por la piel en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.

Nocivas son las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración por cutánea puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.

Irritantes son las sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas, puedan provocar una reacción inflamatoria.

Sustancias Extremadamente inflamables:

- Sustancias y preparados líquidos cuyo punto de inflamación sea inferior a 0° C y su punto de ebullición (o en el intervalo de ebullición, la temperatura inicial de ebullición) sea inferior o igual a 35 ° C.
- Sustancias y preparados gaseosos que sean inflamables en contacto con el aire a temperatura y presión normales.

Sustancias fácilmente inflamables:

- Sustancias y preparados sólidos, susceptibles de inflamarse fácilmente después de un breve contacto con una fuente de ignición y que continúan ardiendo o consumiéndose después de la eliminación de dicha fuente.
- Sustancias y preparados líquidos cuyo punto de inflamación sea inferior a 21° C, pero que no sean extremadamente inflamables.

Sustancias inflamables son las sustancias y preparados líquidos cuyo punto de inflamación sea igual o superior a 21° C, e inferior o igual a 55° C.

El alto grado de preocupación del colectivo de trabajadores de laboratorios químicos junto con la frecuencia de uso de ciertas sustancias⁴ ha hecho que el objeto de nuestro estudio se centre de una manera especial en dos grupos de sustancias peligrosas especificadas anteriormente.

El primero de ellos corresponde a los **agentes cancerígenos, Tóxicos para el desarrollo (mutagénicos y teratogénicos) y tóxicos para la reproducción**⁵ por los resultados tan lesivos para la salud, aún en trabajadores expuestos a bajas concentraciones incluso en exposiciones de corta duración, y que en adelante llamaremos **citotóxicos**.

El segundo corresponde a los agentes químicos ambientales que mayoritariamente están presentes en el medio ambiente laboral del laboratorio⁶ y que corresponden a los VOC (Compuestos Volátiles Orgánicos), y cuyas principales características de peligrosidad están relacionadas con la **toxicidad y la inflamabilidad** de los mismos.

Nuevos pictogramas de peligro

El Real Decreto 717/2010, de 28 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas y el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, desarrolla los criterios armonizados de clasificación y etiquetado de sustancias y mezclas. Este sistema, llamado Sistema Globalmente Armonizado (SGA) de clasificación y etiquetado de productos químicos, facilita el comercio mundial, al tiempo que protege la salud humana y el medio ambiente

A partir del **1 de diciembre de 2010**, la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias químicas ya debe realizarse de acuerdo a este nuevo Reglamento.

⁴ Información extraída de los documentos de evaluaciones iniciales de riesgos del archivo de prevención de riesgos laborales del Gabinete de Prevención y Calidad Ambiental de la Universidad de Granada.

⁵ Al conjunto de agentes cancerígenos y tóxicos para la reproducción se les denomina también “agentes citotóxicos”.

⁶ Información detallada al respecto ha sido extraída de los documentos de evaluaciones iniciales de riesgos de las Facultades de Ciencias, Medicina, Odontología, Farmacia y Bellas Artes, ubicadas en archivo de prevención de riesgos laborales del Gabinete de Prevención y Calidad Ambiental de la Universidad de Granada.

Esta norma introduce cambios en las características de los pictogramas de las etiquetas y los criterios para la utilización de los pictogramas de peligro:

- Los pictogramas de peligro llevarán un símbolo negro sobre un fondo blanco, con un marco rojo lo suficientemente ancho para ser claramente visible. Tendrán forma de cuadrado apoyado en un vértice y cada pictograma deberá cubrir, al menos, una quinceava parte de la etiqueta armonizada y la superficie mínima en ningún caso será menor de 1 cm².
- La utilización de los pictogramas dependerá de los peligros que puedan provocar las sustancias químicas, distinguiendo entre peligros físicos, peligros para la salud o peligros para el medio ambiente.

En la siguiente imagen se recogen los nuevos pictogramas, que se utilizarán en los siguientes casos:

1. Productos cancerígenos que pueden provocar cáncer. Productos mutágenos que pueden modificar el ADN de las células y provocar daños a la persona expuesta o a su descendencia. Productos tóxicos para la reproducción, que pueden producir efectos nefastos en las funciones sexuales, perjudicar la fertilidad, provocar la muerte del feto o producirle malformaciones. Productos que pueden modificar el funcionamiento de ciertos órganos, como el hígado. Productos que pueden entrañar graves efectos en los pulmones o provocar alergias respiratorias.
2. Productos que provocan efectos nefastos para los organismos del medio acuático.
3. Productos que producen efectos adversos en dosis altas. También pueden producir irritación en ojos, garganta, nariz y piel. Provocan alergias cutáneas, somnolencia y vértigo.
4. Productos comburentes, que pueden provocar o agravar un incendio o una explosión en presencia de productos también comburentes.
5. Productos que pueden explotar al contacto con una llama, chispa, electricidad estática, bajo efecto del calor, choques, fricción... Productos químicos que son corrosivos y que pueden atacar o destruir metales.

6. Productos que pueden inflamarse al contacto con una fuente de ignición (llama, chispa, electricidad estática...) y productos que pueden inflamarse por calor o fricción, por contacto con aire o agua, o si se liberan gases inflamables.
7. Productos que son gases a presión en un recipiente. Algunos pueden explotar con el calor. Se trata de gases comprimidos, licuados o disueltos. Los licuados refrigerados pueden producir quemaduras o heridas relacionadas con el frío, que se conocen como quemaduras o heridas criogénicas.
8. Sustancias corrosivas que pueden causar daños irreversibles a la piel u ojos, en caso de contacto o proyección.
9. Productos que producen efectos adversos para la salud, incluso en pequeñas dosis. Pueden provocar náuseas, vómitos, dolores de cabeza, pérdidas de conocimiento e incluso la muerte.

Imagen A.4.1. Nuevos pictogramas de peligro.



Los pictogramas 4, 5, 6 y 7 se refieren a los peligros físicos, los pictogramas 1, 3, 8 y 9, a los peligros para la salud, y el pictograma 2, a los peligros para el medio ambiente.

En la siguiente tabla se relacionan los antiguos pictogramas con los nuevos, en función de los peligros que se tengan.

Tabla A.4.1. Pictogramas de peligro antiguos y pictogramas nuevos.

PELIGROS	PICTOGRAMAS ANTIGUOS	PICTOGRAMAS NUEVOS
PELIGROS FÍSICOS		
EXPLOSIVOS		
INFLAMABLES		
COMBURENTES		
GASES A PRESIÓN	-	
CORROSIVOS		

PELIGROS PARA LA SALUD		
<p>TOXICIDAD AGUDA (ORAL, CUTÁNEA, POR INHALACIÓN)</p>		 o 
<p>LESIÓN OCULAR GRAVE O IRRITACIÓN OCULAR. CORROSIÓN O IRRITACIÓN CUTÁNEA</p>		 o 
<p>SENSIBILIZACIÓN RESPIRATORIA O CUTÁNEA</p>	<p style="text-align: center;">-</p>	 o

		
MUTAGENICIDAD EN CELULAS GERMINALES	-	
CARCINOGENICIDAD	-	
TOXICIDAD PARA LA REPRODUCCIÓN Y EFECTOS SOBRE LA LACTANCIA O A TRAVÉS DE ELLA	-	
TOXCIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS TRAS EXPOSICIÓN ÚNICA)	-	 O 

TOXCIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS TRAS EXPOSICIONES REPETIDAS)	-	
PELIGRO POR ASPIRACIÓN	-	
PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE		
PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE		

A1.4. El trabajo con agentes citotóxicos.

Los agentes citotóxicos son sustancias tóxicas para las células que pueden participar en los procesos de inmunidad celular. Se distinguen de los *agentes citostáticos* en el grado del efecto. Algunas son utilizadas como *antibióticos citotóxicos*. El mecanismo de acción de muchos de estos son como *agentes alquilantes o moduladores de la mitosis celular*. Son sinónimas las citolisinas y/o las sustancias citotóxicas.

Entre las sustancias que hemos denominado citotóxicas podríamos establecer, como anteriormente hemos citado, los siguientes grupos:

A1.4.1. Agentes Cancerígenos

A1.4.2. Tóxicos para el desarrollo (Agentes Mutagénicos y Teratogénicos)

A1.4.3. Tóxicos para la reproducción

A1.4.1 Agentes Cancerígenos

El cáncer es quizás uno de los tipos de enfermedad más temido por la sociedad; La llamada enfermedad maldita, ha avanzado espectacular y dramáticamente hasta convertirse en la segunda causa de mortalidad mundial, tras las enfermedades del sistema cardiovascular: Cada año, cientos de miles de nuevos casos son diagnosticados, y las estadísticas nos dicen que un ser humano de cada cinco tendrá un cáncer, y que uno de cada seis morirá a causa del mismo.

El hombre del siglo XX, al observar el paralelismo entre desarrollo de la sociedad industrializada, por una parte, y el avance del cáncer, por otra, ha tendido en ocasiones a establecer una relación de causa-efecto, llegando incluso a asumir la idea de que en cierta manera es un precio que paga por el desarrollo al que ha accedido. Este punto de vista es equivocado: En primer lugar, el cáncer no es una enfermedad propia de las sociedades desarrolladas, sino que es tan vieja como la humanidad misma, puesto que se han observado tumores óseos y del aparato respiratorio superior en momias del antiguo Egipto (tipos de cáncer todavía hoy muy frecuentes en el África Oriental), así como melanomas y tumores óseos en momias del antiguo imperio Inca. En segundo lugar, el cáncer se halla también muy extendido en los países del tercer mundo, si bien los tipos

de tumores más frecuentes en dichos países (de boca, riñón o hígado), son diferentes de los tipos más frecuentes en las sociedades más desarrolladas (pulmón, mama, colon y recto), Es evidente, además, que el cáncer ha avanzado porque otras causas de mortalidad han disminuido de una manera drástica, especialmente enfermedades infecciosas que hasta finales del siglo pasado originaban epidemias alcanzando a grandes capas de la población, gracias al avance que supuso el descubrimiento de técnicas inmunológicas, así como las síntesis y producción de antimicrobianos erices y al establecimiento de programas de salud pública. Todo ello ha originado que en muchos países la esperanza de vida media halla sobrepasado largamente los 50-60 años, edades que son las más apropiadas para el diagnóstico de tumores, cuyo periodo de latencia es de muchos años, incluso décadas. Las encuestas de opinión demuestran que en los países más desarrollados en el cáncer es la enfermedad más temida, llegando incluso a un verdadero estado de “psicosis de cáncer”, y así, no es raro que en los medios de comunicación se haga propaganda de las ventajas de ciertas dietas contra en cáncer, o bien que se hagan catastróficas premoniciones sobre colectividades de población que viven cerca de núcleos muy industrializados. De hecho, esta enfermedad presenta unas peculiaridades que la hacen específicamente temible:

- Es insidiosa, con lo que generalmente los primeros síntomas clínicos no aparecen hasta que el tumor no está muy desarrollado, lo cual reducen notablemente las posibilidades de tratamiento y la esperanza de curación.
- Afecta muy frecuentemente a las personas de edad media (40-50 años), cuyas expectativas de vida son todavía muy notables, aparte de que se trata de un periodo vital de tiempo en el que muchas personas alcanzan el cenit personal (familiar, profesional), lo cual contribuye a que el “shok” psicológico sea aún más brutal.
- Es una enfermedad grave, con una tasa de mortalidad alta, si bien ésta depende del tipo de tumor, su localización y del grado desarrollo a que haya llegado al momento de la detección.
- Los tratamientos convencionales (cirugía, radioterapia y quimioterapia) son penosos tanto física como psíquicamente, y nunca desaparece la angustia por la posible reproducción del tumor, bien en el mismo órgano o tejido o bien en otro punto más alejado debido a la metástasis.

- En el caso de tratarse de un cáncer irreversible, el proceso de terminación suele ser una auténtica tortura, tanto para el enfermo como para los familiares que le rodean. Hoy en día se sabe que las causas del cáncer son muy complejas, combinando factores inherentes al individuo con factores del medio ambiente, un resumen de los cuales se dan en la tabla A.4.2.

Tabla A.4.2. Factores etiológicos del cáncer⁷.



⁷ Fuente: Fraumeni, J. "Persons at high risk of cancer. An approach to cancer etiology and control", Academic Press. 1975.

Todos los autores están de acuerdo en que la mayor parte de cánceres en seres humanos se deben a factores del medio ambiente, citándose porcentajes que llegan al 90 %, y ello sin contar los casos de cáncer profesional por exposición a productos químicos, que representan entre el 1% y el 5 % . Así, las estadísticas demuestran que las personas con el hábito de fumar están mucho más expuestas a contraer unos tipos concretos de cáncer (de pulmón, cavidad bucal, faringe, páncreas y vejiga) que los no fumadores. El humo del tabaco contiene numerosas sustancias irritantes, tóxicas y cancerígenas (en la revista química e industria se ha publicado un artículo al respecto⁸, habiéndose llegado a identificar productos como la 2-naftilamina, la hidracina, el cloruro de vinilo, nitrosaminas y ciertos aldehídos (6), todos ellos de reconocido potencial cancerígeno, lo que aporta una justificación científica a la correlación causa-efecto obtenida en los estudios epidemiológicos.

El consumo de alcohol acompañado al vicio de fumar ha probado ser un agente etiológico para ciertos tipos de cáncer de las vías superiores (boca, faringe, esófago) y de hígado, aparte del hecho de que en ciertos tipos de cerveza se ha podido detectar la presencia de nitrosaminas, uno de los tipos de cancerígenos potencialmente más peligrosos para el ser humano.

La radiación solar (por su componente ultravioleta) es otra causa de cáncer, especialmente por la formación de tumores en la piel; asimismo, la manipulación de aparatos de RX sin las debidas precauciones se cita como causa de ciertos cánceres muy frecuentes en personal sanitario o relacionado con instrumentación radiológica sanitaria.

La utilización de drogas, entendiéndose por tales ciertos productos químicos empleados clínicamente por su acción farmacológica, ha demostrado ser origen de cáncer en pacientes sometidos a dichas drogas, especialmente por lo que se refiere a sustancias usadas en la quimioterapia del cáncer, como la ciclofosfamida lo cual es ciertamente lógico si tenemos en cuenta que al introducir en el organismo una sustancia destinada a destruir células tumorales, no se puede impedir una determinada acción de la misma en contra de las células todavía sanas.

⁸ Véase: Ollero, "Consideraciones generales sobre el humo del tabaco", Química e industria, vol. 30, nº 3, marzo de 1984.

El término “estilo de vida” incluye una serie de vicios como el tabaco y el alcohol, de los cuales ya se ha hablado, así como un factor al que se le da una gran importancia a la génesis de muchos cánceres humanos, y que es el tipo de dieta, puesto que ciertos estudios realizados en EEUU parecen asociar el cáncer de colon y recto con el consumo de dietas ricas en carnes, hecho que podría explicarse por la presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares cancerígenos en carnes ahumadas, así como por la formación de aminas aromáticas también cancerígenas, en el asado de ciertas carnes, al producirse una pirolisis de las proteínas. Otro tipo de dietas censuradas son aquellas ricas en grasas, a las cuales se correlaciona con el cáncer de mama femenino, otro de los más frecuentes den dicho país.

Otro factor a considerar es la localización geográfica: los números atlas que se publican relacionando tipos de cáncer con localidades o regiones concretas, permiten observar el hecho revelador que en ciertas comunidades o regiones se presentan tasas de incidencia de un tipo de cáncer mucho más altas de lo normal, sin que se pueda encontrar una explicación que lo justifique. La importancia del factor geográfico estriba en que el individuo que emigra o cambia su lugar de residencia adopta la tendencia del lugar al cual se traslada, y así se ha demostrado que pese a que el cáncer de estómago es el más frecuente en el Japón, cuando los japoneses trasladan su residencia a los Estados Unidos disminuyen las probabilidades de que sufra un tumor en el estómago, en cambio aumenta su riesgo a sufrir un cáncer de colon que es precisamente el característico del país norteamericano.

Dejando a parte los factores etiológicos al individuo, existe hoy día una nueva faceta en el campo de la investigación oncológica, y es la sospecha de que algunos tipos de cáncer tengan un origen vírico, dado que en laboratorios se ha conseguido el aislamiento de virus oncogénicos que han demostrado no solamente el poder provocar cáncer en animales de laboratorio sino también transformar “in vitro” células humanas sanas en células cancerosas de alta malignidad.

Actualmente no cabe duda que ciertos casos de cáncer (una gran mayoría) son debidos a unas deficientes condiciones de trabajo, especialmente por exposición a agentes físicos,

químicos e incluso biológicos, que entre sus características resultan ser agentes carcinogénicos para la especie humana.⁹

Esta etiología laboral está pobremente documentada, incluso no puede recurrirse a las estadísticas, muy deficientes en el ámbito de de las enfermedades profesionales, en particular en España, por estar muy alejadas de la realidad. Especialmente no reflejan los casos de cánceres profesionales, por la aún mayor dificultad de recogerlos como tales enfermedades debidas a determinadas condiciones de trabajo, especialmente por ciertas condiciones ambientales. Dificultad ésta ocasionada por la a veces larga duración del periodo de latencia, es decir, el lapso de tiempo entre la exposición al agente que lo indujo y la aparición de la enfermedad, que puede llegar a superar los treinta años. Esta causa se une a otras como la no- indagación del posible origen de la enfermedad, su a veces escasa especificidad, etc.

Lamentablemente, existen muy pocos estudios epidemiológicos de cáncer en químicos, descritos en la bibliografía un resumen de los cuales sigue a continuación como tabla A3.

Tabla A.4.3. Investigaciones sobre casos de cáncer en químicos.

ESTUDIO	BASE DE LA INVESTIGACIÓN	RESULTADOS MÁS SIGNIFICATIVOS
Li y col. (USA, 1969)	Compara muertes entre químicos y otros profesionales no químicos	25% más de cáncer en el grupo de químicos. Notable incremento de linfomas y cáncer de páncreas.
Olin. (Suecia, 1976)	Compara muertes entre químicos de laboratorio y químicos dedicados a otras actividades.	Entre 2 y 3 veces más de cáncer en los químicos de laboratorio. Incremento de linfomas.
Olin. (Suecia, 1978)	Compara muertes entre químicos y otros graduados técnicos.	62% más de cáncer en el grupo de los químicos. Notable incremento de leucemias y linfomas.
Searle y col. (R. Unido, 1976)	Compara muertes entre químicos y población general	Incremento de linfomas

⁹ Véase al respecto "Agentes carcinogénicos". Mario Grau Rios. INSHT.

Todos estos aspectos que se han esbozado a manera de introducción, sirven para darse cuenta que realmente el tema es muy complejo; consecuentemente, toda aproximación al mismo debe realizarse con mucha prudencia y procurando evitar el establecimiento de correlaciones superficiales que pueden conducir a conclusiones equivocadas al haberse ignorado o no haberse ponderado suficientemente todas las variables. En todo caso hay que tener siempre presente que en toda la problemática del cáncer la palabra clave a tener siempre en cuenta es la palabra “probabilidad”.

A1.4.1.1. Carcinogénesis.

Con la palabra cáncer, se designa a cualquier enfermedad caracterizada por un crecimiento anormal y no funcional de las células, y cuyo resultado final es la formación de un tumor. El tumor es maligno cuando su potencial de crecimiento es ilimitado, expandiéndose localmente por invasión y sistemáticamente por metástasis.

Las proliferaciones celulares de los cánceres tienen tendencia a destruir los tejidos, a difundirse en el organismo en forma de metástasis y a reproducirse, aunque no todos los cánceres responden siempre a este criterio, sí es el más común.

Los epitelomas (o carcinomas) son los más frecuentes: se dividen en epitelomas malpighianos (los de la piel y de las mucosas (labios, cuello del útero)) y parenquimatosos (glándula mamaria, hígado.)

Los sarcomas son los cánceres de los tejidos conjuntivos; los hematosarcomas afectan al bazo, la médula ósea y los ganglios linfáticos y pueden dar origen a leucemias.

Los cánceres embrionarios están constituidos por tejidos o células que dejan de existir después del nacimiento (nefroblastomas.)

Los melanomas malignos son los tumores del tejido pigmentario.

Los cánceres del sistema nervioso central sólo poseen una extensión local y no originan metástasis.

TIPOS DE ENFERMEDADES CANCEROSAS¹⁰

- ADENOMA Y ADENOCARCINOMAS
- SARCOMAS
- CARCINOMAS CELULARES
- GLIOMAS
- ENFERMEDADES DE HODGKIN'S
- NEOPLASMAS EPITELIALES
- NEOPLASMAS GONODALES
- ENFERMEDADES DEL TEJIDO HEMATOPOYÉTICO (POLICITEMIA, MIELOPROLIFERACIÓN Y LINFOPROLIFERACIÓN)
- LEUCEMIAS
- LINFOMAS
- MELANOMAS
- MENINGIOMAS
- NEOPLASMAS MESOTELIALES
- TUMORES MALIGNOS (CÁNCER)
- NEOPLASMAS MIXTOS
- OSTEOSARCOMAS
- NEOPLASMAS CELULARES PAPILARES Y ESCUMOSOS
- TUMORES CELULARES DEL PLASMA
- RETICULOSARCOMAS

El proceso de generación de un cáncer o *carcinogénesis* consiste en un proceso de inducción de neoplasias malignas.

Este proceso comienza por la denominada fase de *iniciación*, en la que se produce una influencia de factores o agentes que inducen su división celular (mitosis) anómala, de tal modo que las células hijas adquieren una cierta autonomía para dividirse y crecer a su vez. La fase siguiente es la de *promoción*, por la que hay una estimulación a dividirse, pudiéndose detectar clínicamente las formas neoplásicas. Le sigue la fase de *progresión*, que consiste en el desarrollo

¹⁰ Fuente: IARC (International Agency for Research on Cancer)

de la enfermedad, creciendo el tumor e invadiendo el entorno, alterando la morfología y funcionalidad de los tejidos y órganos implicados, a la par que mediante la emigración de algunas células a otros lugares del organismo, se desarrollan *metástasis*, que suponen a su vez núcleos o focos de generación de nuevos tumores.

CARCINOGENESIS

I. INICIACIÓN

Inducción de la división celular anómala

II. PROMOCIÓN

Estimulación de la división de células anómalas

Detección de formas neoplásicas

III. PROGRESIÓN

Crecimiento del tumor invadiendo el entorno

Alteración de la morfología y funciones de los tejidos y órganos invadidos

IV. METÁSTASIS

Emigración de las células malignas a otros lugares del organismo

Focos de generación de nuevos tumores

(simultáneamente con la fase de progresión)

Los avances que se están produciendo en los estudios sobre estas enfermedades, están haciendo desaparecer grandes lagunas y aspectos hasta hace poco no muy conocidos, sino completamente desconocidos. Estos secretos comienzan a ser desvelados a pesar de la tremenda complejidad de los mecanismos que comportan, ya que intervienen múltiples factores y de todo tipo: genéticos, hormonales, ambientales, dietéticos, humorales, el estrés, etc. Los avances ya permiten actuar preventivamente, y no sólo a través del diagnóstico y tratamiento precoz, sino

evitando su aparición, a la par que poder ampliar tratamientos con mayor éxito, con incluso de la total curación, con menor sufrimiento y menos secuelas.

A1.4.1.2. Cáncer laboral¹¹

Desde el punto de vista de la Ley General de Seguridad Social, se considera cáncer laboral, la enfermedad de tipo canceroso sufrida con motivo u ocasión del trabajo y que está incluida en el listado de enfermedades profesionales contenido en el R.D. 286/2007 y producida por uno de los agentes que en tal listado se explicita. Más concretamente, todo cáncer debido a la exposición laboral a un agente carcinogénico; es decir, por el desarrollo de una actividad laboral o con ocasión del trabajo en unas condiciones ambientales tales que supongan la presencia de un agente físico, químico o biológico potencialmente carcinogénico en unos determinados niveles de intensidad, concentración o presencia.

De los tres agentes carcinogénicos, anteriormente comentados, en el ámbito laboral, el grupo más extenso y de mayor frecuencia de exposición lo constituye el grupo de los agentes químicos, obviamente por ser con mucho el de mayor número de especies (sustancias) utilizadas y el de mayor extensión por presencia en los ambientes de trabajo.

Un agente químico cancerígeno, es un agente que produce cáncer; el problema estriba en poder afirmar con certeza que un producto químico cualquiera es cancerígeno para el hombre, puesto que solo se dispone de estudios con animales de laboratorio y en algunos casos, de estudios epidemiológicos (el gran intervalo de tiempo que existe entre la génesis de la enfermedad a nivel celular, y el momento de la aparición de los primeros síntomas es un gran inconveniente para poder establecer relaciones causa-efecto en el hombre). Por ello la American Cancer Society define acertadamente un cancerígeno como un “agente que estadísticamente incrementa el riesgo de cáncer en el hombre, bien iniciando el proceso o bien promoviéndolo.

¹¹ Es difícil poder precisar el porcentaje de cánceres debidos a la exposición laboral, aunque se admite una prevalencia de entre un 3% y un 5% del cáncer laboral respecto al conjunto de tumores. Fuente: NTP 269 del INSHT: “Cancerígenos, mutágenos y teratógenos: manipulación en el laboratorio.

El centro IARC clasifica los agentes (sustancias, preparados y cualquier otro producto) y procesos estudiados tras una evaluación global de la carcinogenicidad tras considerar en su conjunto los resultados de los estudios y ensayos efectuados, según el grado de evidencia obtenido. Estos grupos son cuatro, más una subdivisión del segundo grupo¹²:

1. *Grupo 1: Carcinógeno par los humanos.* La circunstancia de exposición supone exposiciones que son carcinógenas para los humanos.

2. *Grupo 2: Probable o posiblemente carcinógeno para los humanos.* El grado de evidencia para la especie humana es casi suficiente o, en ausencia de datos para los humanos, existe una evidencia de carcinogenicidad en animales de experimentación. Dentro de este grupo se clasifican en uno de los dos siguientes, según el grado de evidencia:

Grupo 2A: Probablemente carcinógeno para los humanos. La circunstancia de exposición supone exposiciones que son probablemente carcinógenas para los humanos. Existe una evidencia limitada en humanos y una evidencia suficiente en animales de experimentación. Puede también incluir algunos agentes con evidencia inadecuada de carcinogenicidad en humanos y evidencia suficiente en animales de experimentación, con la convicción de que la carcinogénesis en personas expuestas tiene lugar a través de un mecanismo concreto propio de los humanos. Muy excepcionalmente puede clasificarse en este grupo un agente sobre la única base de evidencia limitada de carcinogenicidad en humanos.

Grupo 2B: Posiblemente carcinógeno para los humanos. La circunstancia de exposición supone exposiciones que son posiblemente carcinógenas para los humanos. Se clasifican aquí aquellos agentes para los que hay una evidencia limitada de carcinogenicidad en los humanos y menos en los animales de experimentación. También se incluyen aquellos agentes para los que existiendo una evidencia inadecuada de carcinogenicidad para los humanos, la evidencia es suficiente para los animales de experimentación.

¹² La definición y clasificación de los agentes cancerígenos establecida en la legislación española difiere de esta otra establecida por la IARC. En el apartado 1.5.2. de este estudio vienen definidos tales aspectos.

También puede alcanzar a aquellos agentes con evidencia inadecuada para los humanos y evidencia limitada para los animales de experimentación junto con otros datos relevantes que apoyan su inclusión en este grupo.

- *Grupo 3: No clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para los humanos.* Aquí se incluyen los casos cuy evidencia de carcinogenicidad es inadecuada para los humanos e inadecuada o limitada por los animales de experimentación. Pueden incluirse también los agentes que siendo la evidencia inadecuada para los humanos pero suficiente para los animales de experimentación, hay una clara evidencia de que el mecanismo de carcinogénesis observado en dichos animales no opera en los seres humanos.

- *Grupo 4: Probablemente no es carcinógeno para los humanos.* Bajo esta categoría o grupo se incluyen aquellos agentes para los que se ha encontrado una evidencia que sugiere la ausencia de carcinogenicidad en humanos y en animales de experimentación.

Hasta el momento se han evaluado por el IARC 836 agentes o procesos, incluyéndose 74 de ellos en el grupo 1, 56 en el grupo 2^a, 225 en el grupo 2B, 480 en el grupo 3 y tan sólo uno en el grupo 4 (la caprolactama.)

A1.4.1.3. Cancerígenos de uso común en laboratorios.

En los laboratorios químicos son de uso más o menos común una serie de productos de todo tipo (reactivos analíticos, disolventes, agentes de síntesis), de los cuales existe en la bibliografía alguna referencia sobre su posible acción carcinogénica.

Por su frecuencia de manejo se destacan los siguientes¹³:

- Aminas aromáticas
- Hidrocarburos aromáticos polinucleados.
- Benceno
- Hidrocarburos halogenados.

¹³ La frecuencia de manejo de tales sustancias ha sido extraída en base a la revisión bibliográfica de los documentos sobre evaluación de riesgos laborales de los diferentes centros de la Universidad de Granada.

- Nitrosaminas
- Nitrosamidas
- Hidracina y derivados
- Agentes alquilantes
- Colorantes azoicos
- Tiocompuestos
- Compuestos cíclicos activos
- Sales inorgánicas.

AMINAS AROMÁTICAS

Naftilaminas.

Bencidina

O-Tolidina

O-dianisidina.

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLINUCLEARES

Benzo (a) pireno.

BENCENO

HIDROCARBUROS CLORADOS

Tetracloruro de carbono

Cloroformo

NITROSAMINAS

NITROSAMIDAS

Utilizadas en la generación de diazometano.

N-nitroso N-metilurea

N-nitroso N-metil N'-nitroguanidina

HIDRACINA Y DERIVADOS

Metil hidracina

AGENTES ALQUILANTES

Sulfato de metilo

Metansulfonato de metilo

Yoduro de metilo.

COLORANTES AZOICOS

p-Dimetilaminoazobenceno. (Amarillo, indicador pH zona ácida.)

o- aminoazo tilueno.

TIOCOMPUESTOS

Tiourea

Tioacetamida.

COMPUESTOS CICLICOS ACTIVOS

beta- propiolactona.

Etilenimina

OTROS PRODUCTOS NITROSADOS

1-nitroso 2-naftol

2-nitroso 1 naftol

nitroso R sal.

SALES Y OTROS COMPUESTOS INORGÁNICOS

Cromo

Níquel

Cadmio.

Arsénico

Berilio

Ciertas sales de plomo (fosfato y acetato.)

A1.4.2. Tóxicos para el desarrollo (mutagénicos y teratogénicos)

La toxicidad para el desarrollo ha sido definida como la aparición de efectos adversos en el organismo en desarrollo, secundarios a una exposición previa a la concepción (de cualquiera de los padres) o producida durante el desarrollo prenatal o durante el período posnatal hasta el momento de la madurez sexual. Se pueden detectar efectos de este tipo en cualquier momento de la vida del organismo. Sus manifestaciones principales son:

- la muerte del organismo en desarrollo;
- anomalías estructurales;
- alteraciones del crecimiento;
- deficiencias funcionales.

Así pues, Toxicidad sobre el desarrollo, se utiliza con carácter general para designar las exposiciones de la madre, del padre o del producto de la concepción que conducen a un desarrollo anormal.

Los tóxicos que producen efectos sobre el organismo en desarrollo pueden ser:

Mutágenos

Teratógenos

A1.4.2.1. Mutagénicos

La exposición de cualquiera de los padres antes de la concepción a compuestos tóxicos puede producir defectos del desarrollo mediante mutagénesis, es decir, mediante algún cambio en el material genético que pasa al descendiente. A este tipo de sustancias tóxicas que pueden generar tales mutaciones se les asigna la frase R 46: Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.

Estos cambios pueden afectar a genes aislados o producirse a nivel cromosómico. Los primeros pueden producir la transmisión de mensajes genéticos alterados, en tanto que los cambios a nivel cromosómico pueden dar lugar a la transmisión de anomalías en el número o estructura de los cromosomas.

Es interesante señalar que algunas de las pruebas más sólidas sobre el papel de las exposiciones previas a la concepción en las anomalías del desarrollo proceden de estudios de

exposiciones profesionales paternas. Por ejemplo, el **síndrome de Prader-Willi**, una deficiencia congénita caracterizada por hipotonicidad durante el período neonatal y, más adelante, por obesidad pronunciada y trastornos del comportamiento, se ha asociado a las **exposiciones paternas a los hidrocarburos**.

Otros estudios han demostrado asociaciones entre distintas exposiciones paternas a agentes físicos previas a la concepción y ciertas malformaciones congénitas y neoplasias malignas de la infancia. Al evaluar los peligros de las exposiciones laborales para la reproducción y el desarrollo, se debe prestar mayor atención a los posibles efectos entre los varones.

Es muy probable que algunos defectos de etiología desconocida impliquen un componente genético relacionado con las exposiciones paternas. Dadas las asociaciones demostradas entre la edad del padre y la tasa de mutación, parece lógico que haya otros factores y exposiciones paternas asociados a mutaciones genéticas. La asociación perfectamente establecida entre la edad materna y la ausencia de disyunción cromosómica, que produce anomalías en el número de cromosomas, sugiere que las exposiciones maternas desempeñan un papel significativo en las anomalías cromosómicas.

A medida que aumente nuestro conocimiento del genoma humano es posible que consigamos descubrir más defectos del desarrollo secundarios a cambios mutagénicos en el ADN de genes aislados o a cambios estructurales en porciones de cromosomas.

Ejemplos de mutágenos de uso común en laboratorios:

Bromuro de etidio

Benzo (a) pireno

Benzo (d,e,f) criseno

1,2 dibromo-3 cloropropano

Oxido de etileno

Oxirano

A1.4.2.2. Agentes teratogénicos

Se emplea *teratogénesis* para referirse más específicamente a la exposición del producto de la concepción que genera una malformación estructural. A las sustancias teratógenas se les asigna la frase de riesgo R 47: Puede causar malformaciones congénitas.

Los efectos adversos derivados de la exposición del producto de la concepción a agentes químicos exógenos están reconocidos desde el descubrimiento de la teratogenicidad de la talidomida, en 1961. Wilson (1973) ha desarrollado seis “principios generales de la teratología” que presentan interés en este campo:

1. Las manifestaciones finales del desarrollo anormal son la muerte, la malformación, el retraso del crecimiento o los trastornos funcionales.
2. La sensibilidad del producto de la concepción a los agentes teratogénicos varía con la fase del desarrollo en el momento de la exposición.
3. Los agentes teratogénicos actúan de modo (mecanismo) específico sobre las células y los tejidos en desarrollo al iniciarse la embriogénesis anormal (patogénesis).
4. Las manifestaciones del desarrollo anormal aumentan gradualmente desde la ausencia de efecto hasta el nivel totalmente letal a medida que aumenta la dosis.
5. El acceso de los factores ambientales adversos a los tejidos en desarrollo depende de la naturaleza del agente.
6. La sensibilidad a un teratógeno depende del genotipo del producto de la concepción y de la manera en que el genotipo interactúa con los factores ambientales.

A las sustancias teratógenas se le asigna la frase de riesgo R 47: Puede causar malformaciones congénitas.

En lo que sigue se examinan con más atención el primero de estos principios y asimismo la combinación de los principios 1, 2 y 4 (efectos, tiempo de exposición y dosis).

Espectro de resultados adversos asociados a la exposición

Existe un espectro de resultados adversos potencialmente asociados a la exposición. Los estudios profesionales que se centran en un único resultado corren el riesgo de pasar por alto otros efectos reproductivos importantes.

La Figura 9.1 recoge algunos ejemplos de resultados del desarrollo potencialmente asociados con la exposición a teratógenos profesionales. Algunos estudios sugieren que las malformaciones congénitas y los abortos espontáneos se asocian a unas mismas exposiciones, por ejemplo, a gases anestésicos y a disolventes orgánicos.

Tabla A.4.4. Anomalías del desarrollo y resultados de la reproducción potencialmente asociados con exposiciones profesionales.

<p>FRACASO DE LA GESTACION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida precoz del producto • Aborto espontáneo <p>DEFECTOS GENETICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Defectos de un solo gen • Anomalías cromosómicas <p>MALFORMACIONES CONGENITAS</p> <p>BAJO PESO AL NACER</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crecimiento intrauterino retardado (C.I.R) <ul style="list-style-type: none"> • Parto pretérmino <p>MORTALIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muerte tardía del feto • Mortalidad perinatal • Mortalidad infantil <p>ALTERACIONES FUNCIONALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones del desarrollo • Desórdenes del comportamiento <p>TUMORES MALIGNOS</p>	
--	--

El aborto espontáneo es un resultado importante que debe tenerse en cuenta, dada la posibilidad de que se produzca por diferentes mecanismos a través de diversos procesos patógenos.

Puede deberse a toxicidad para el embrión o el feto, alteraciones cromosómicas, efectos sobre genes aislados o anomalías morfológicas.

Es importante tratar de diferenciar entre el producto de la concepción normal y el anormal desde el punto de vista cariotípico en los estudios de abortos espontáneos.

Momento de la exposición

El segundo principio de Wilson relaciona la sensibilidad al desarrollo anormal con el momento de la exposición, es decir, con la edad gestacional del producto de la concepción. Este principio ha sido perfectamente establecido para la inducción de malformaciones estructurales, y se conocen los períodos sensibles a la organogénesis de muchas estructuras. Considerando un conjunto amplio de resultados, el período sensible durante el cual puede inducirse un efecto dado debe abarcar toda la gestación.

Al evaluar la toxicidad profesional para el desarrollo, se debe determinar y clasificar la exposición para cada período crítico, es decir, la edad o edades de gestación para cada resultado. Por ejemplo, es probable que los abortos espontáneos y las malformaciones congénitas estén relacionados con exposiciones durante el primer y segundo trimestre, mientras que el bajo peso al nacimiento y las alteraciones funcionales, como los trastornos convulsivos y el retraso mental, lo estén con exposiciones durante el segundo y tercer trimestre.

Mecanismos teratogénicos

El tercer principio exige considerar los mecanismos que pueden iniciar la embriogénesis anormal. Se han señalado varios que pueden conducir a la teratogénesis (Wilson 1977), como:

- Mutaciones en secuencias del ADN.
- Anomalías cromosómicas inductoras de cambios estructurales o cuantitativos en el ADN.

- Alteración o inhibición del metabolismo intracelular, por ejemplo, bloqueos metabólicos y ausencia de coenzimas, precursores o sustratos para la biosíntesis.
- Interrupción de la síntesis del ADN o ARN.
- Interferencia en la mitosis.
- Interferencia con la diferenciación celular.
- Fallo en interacciones intercelulares.
- Fallo en migraciones celulares.
- Muerte celular mediante efectos citotóxicos directos.
- Efectos sobre la permeabilidad de la membrana celular y cambios osmolares.
- Rotura física de células o tejidos.

Al considerar los mecanismos, los investigadores pueden agrupar los resultados significativos desde el punto de vista biológico, así como aportar ideas sobre los teratógenos potenciales; por ejemplo, las relaciones entre la carcinogénesis, mutagénesis y teratogénesis han sido motivo de discusión durante algún tiempo. Desde la perspectiva de la evaluación de los peligros reproductivos profesionales, tales relaciones tienen una importancia particular por dos razones distintas: (1) las sustancias que son cancerígenas o mutagénicas tienen más posibilidades de ser teratogénicas, por lo que conviene prestar atención especial a sus efectos reproductivos y (2) los efectos sobre el ácido desoxirribonucleico (ADN) que producen mutaciones somáticas se considera que son mecanismos tanto de carcinogénesis como de teratogénesis.

Dosis y efectos

El cuarto principio sobre la teratogénesis concierne a la relación entre el efecto y la dosis. Está perfectamente establecido en muchos estudios con animales, y Selevan (1985) ha señalado su relevancia para el ser humano, indicando la importancia de distintos resultados reproductivos dentro de rangos terapéuticos específicos y sugiriendo que la relación dosis respuesta se podría reflejar en un aumento de la tasa de un efecto determinado con una dosis mayor y/o un cambio en el espectro de los resultados observados.

En relación con la teratogénesis y la dosis, existe una gran preocupación por las alteraciones funcionales producidas por los posibles efectos en el comportamiento de la exposición prenatal a los agentes ambientales. La teratología en relación con el comportamiento está en rápida expansión en el caso de los animales, mientras que en humanos está en etapas relativamente iniciales de desarrollo. En la actualidad, existen limitaciones críticas en la definición y comprobación de los resultados para la realización de estudios epidemiológicos. Además, es posible que las exposiciones de bajo nivel a tóxicos sobre el desarrollo influyan en algunos efectos funcionales.

Variabilidad de efectos y momento y dosis de la exposición

Los conceptos de variabilidad de efectos y momento y dosis de la exposición son especialmente importantes para la identificación de peligros para el desarrollo presentes en el laboratorio. Basándonos en lo que sabemos sobre la biología del desarrollo, está claro que existen relaciones entre los resultados reproductivos, como el aborto espontáneo y el retraso del crecimiento intrauterino y las malformaciones congénitas. Además, se ha demostrado que se produce una pluralidad de efectos con muchos tóxicos

Tabla A.4.5. Resultado de la exposición a diferentes agentes químicos.

EXPOSICIÓN	RESULTADO			
	ABORTO ESPONTÁNEO	MALFORMACIÓN CONGÉNITA	BAJO PESO AL NACER	DISCAPACIDAD AL DESARROLLO
Alcohol	x	x	x	x
Gases anestésicos	x	x		
Plomo	x		x	x
Disolventes orgánicos	x	x		x
Tabaco	x	x	x	

En este sentido, tienen relevancia los tiempos de exposición y las relaciones dosis-respuesta. Se sabe desde hace tiempo que el período embrionario, durante el cual se produce la organogénesis (2-8 semanas después de la concepción), es el más sensible a la inducción de malformaciones estructurales. El período fetal, entre las ocho semanas y el término, es el de la histogénesis, con un aumento rápido del número de células y de la diferenciación celular. Es entonces cuando la probabilidad de inducción de anomalías funcionales y retraso del crecimiento es más elevado. Durante este período puede haber relaciones entre la dosis y la respuesta: una dosis elevada puede ocasionar retraso del crecimiento y una dosis más baja acaso induzca alteraciones funcionales o conductuales.

Teratógenos de uso común en laboratorios:

Acetato de metilazo- ximetilo

Imidazolina-2-tiona (etilentiourea)

Aunque la toxicidad sobre el desarrollo se considera producida habitualmente por la exposición de la mujer o del producto de la concepción, es decir, como resultado de los efectos teratogénicos, cada vez son mayores las pruebas procedentes de estudios tanto animales como humanos, de los efectos sobre el desarrollo transmitidos por el varón. Los mecanismos propuestos al efecto son la transmisión de sustancias químicas del padre al producto de la concepción a través del líquido seminal, la contaminación indirecta de la madre o del producto de la concepción por sustancias transportadas desde el lugar de trabajo al ambiente doméstico por medio de la contaminación personal, y como se ha observado anteriormente las exposiciones paternas previas a la concepción inductoras de cambios genéticos transmisibles (mutaciones).

La toxicidad reproductiva presenta muchas diferencias específicas con la toxicidad relacionada con otros sistemas. Dado que la reproducción requiere la interacción entre dos personas, mientras que otras formas de toxicidad ambiental afectan típicamente al desarrollo de enfermedad en una persona expuesta, la expresión toxicidad reproductiva alude siempre a una unidad reproductiva o pareja. Este aspecto es característico, por mucho que sea obvio.

Por ejemplo, es posible que la exposición a una sustancia tóxica por parte de un miembro de una pareja reproductiva (p. ej., el varón) se manifieste como un resultado reproductivo adverso en el otro miembro de la pareja (p. ej., aumento de la frecuencia de abortos espontáneos). Cualquier intento de análisis de las causas ambientales de la toxicidad reproductiva debe tener en cuenta el dato específico de la pareja.

Existen otros aspectos característicos de la toxicología reproductiva.

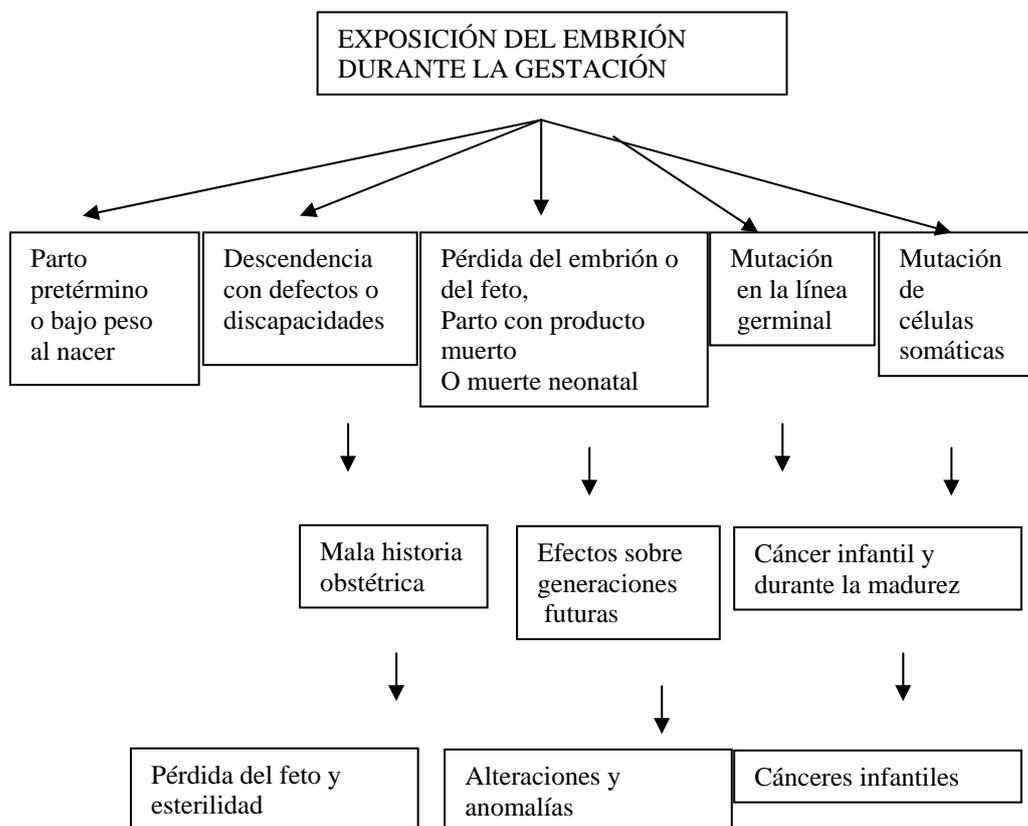
A diferencia de las funciones renal, cardíaca o pulmonar, la función reproductiva se desarrolla de forma intermitente.

En consecuencia, las exposiciones profesionales pueden interferir con la reproducción aunque pasen desapercibidas durante los períodos en los que no se desee la fertilidad. Esta característica intermitente puede dificultar la identificación de una sustancia tóxica reproductiva para los seres humanos. Otra característica exclusiva de la reproducción, derivada directamente de esa consideración previa, es que la evaluación completa de la integridad funcional del sistema reproductor requiere que la pareja trate de conseguir un embarazo.

El empleo remunerado entre las mujeres crece en todo el mundo. Por ejemplo, casi un 70 % de las mujeres de Estados Unidos trabajan fuera de casa durante sus años fértiles (20 a 34 años de edad). Desde la década de 1940 existe además una tendencia casi lineal en la producción de sustancias químicas orgánicas sintéticas, que aumenta los peligros del ambiente para la trabajadora gestante y su descendencia. En último extremo, el éxito reproductivo de una pareja depende de un delicado equilibrio fisicoquímico entre el padre, la madre y el feto y dentro de ellos. Los cambios metabólicos que se producen durante el embarazo pueden potenciar la exposición tanto de la trabajadora como del embrión o el feto a sustancias tóxicas peligrosas. Algunos de estos cambios metabólicos son el aumento de la absorción pulmonar y del gasto cardíaco, el retraso del vaciamiento gástrico, y el aumento de la motilidad intestinal y de la grasa corporal. Como se muestra en la Figura 9.5, las consecuencias de la exposición del embrión se pueden manifestar como una serie de efectos variables dependiendo de la fase de desarrollo: embriogénesis precoz o tardía o período fetal.

El período de transporte de un óvulo fecundado antes de la implantación es de dos a seis días. Durante esta fase precoz, el embrión puede estar expuesto a la acción de los compuestos

químicos que penetren en los líquidos uterinos. En general, la absorción de compuestos xenobióticos puede ir acompañada de cambios degenerativos, alteración del perfil proteico del blastocisto o ausencia de implantación.



Cualquier agresión durante este período tiene muchas probabilidades de producir un aborto espontáneo. Con todo, a partir de los datos experimentales se cree que el embrión es bastante resistente a las agresiones teratógenas en este estadio precoz, dado que las células no han iniciado la compleja secuencia de la diferenciación química. El período de embriogénesis tardía se caracteriza por la diferenciación, movilización y organización de las células y tejidos en órganos rudimentarios. La patología precoz puede inducir muerte celular, fracaso de la interacción celular, reducción de la biosíntesis, alteración del movimiento morfogénico, alteración mecánica de las adherencias y edema (Paul 1993). Los factores mediadores que determinan la sensibilidad son la ruta y el nivel de exposición, el patrón de exposición y el genotipo fetal y materno. La respuesta puede verse aún más alterada por factores extrínsecos como las deficiencias nutricionales o los efectos aditivos, sinérgicos o antagonistas asociados a las exposiciones múltiples. Las respuestas adversas durante la embriogénesis tardía pueden

culminar en un aborto espontáneo, defectos estructurales macroscópicos, pérdida del feto, retraso del crecimiento o anomalías del desarrollo.

El período fetal se extiende desde la embriogénesis hasta el nacimiento y su comienzo se establece hacia los 54-60 días de gestación, cuando el embrión presenta una longitud craneocaudal de 33 mm. Por lo demás, la distinción respecto del período embrionario es en cierto modo arbitraria. El período fetal se caracteriza, en cuanto al desarrollo, por el crecimiento, la histogénesis y la maduración funcional. La toxicidad se puede manifestar por una reducción del tamaño y número de las células. El cerebro aún es sensible a las lesiones; la mielinización no se completa hasta después del nacimiento. La toxicidad durante este período puede producir retraso del crecimiento, defectos funcionales, interrupción de la gestación, efectos conductuales, carcinogénesis transplacentaria o muerte.

A continuación se analizan los aspectos biológicos, sociológicos y epidemiológicos de las exposiciones ambientales/profesionales de la madre.

Anomalías congénitas

Durante los 60 días siguientes a la concepción, el feto puede ser más sensible a las sustancias tóxicas xenobióticas que en cualquiera otra etapa del ciclo de la vida. Históricamente, el término malformaciones congénitas hacía referencia a los defectos estructurales presentes en el nacimiento, ya fueran macroscópicos o microscópicos, internos o externos, hereditarios o no hereditarios, únicos o múltiples. Sin embargo, el término anomalía congénita es más amplio e incluye las anomalías conductuales, funcionales y bioquímicas. Las malformaciones pueden ser únicas o múltiples; los defectos cromosómicos suelen producir defectos múltiples, mientras que las modificaciones de genes aislados o la exposición a agentes ambientales pueden causar indistintamente defectos únicos o síndromes.

La incidencia de las malformaciones depende del estado del producto de la concepción: nacimiento de feto vivo, aborto espontáneo, nacimiento de feto muerto. En general, la tasa de anomalías presentes en los abortos espontáneos es de aproximadamente un 19 %, cifra diez veces mayor que la correspondiente a los nacimientos de feto vivo (Shepard, Fantel y

Fitsimmons 1989). Entre los fetos nacidos muertos con peso superior a los 500 g se detectó una tasa de anomalías del 32 %. La incidencia de defectos importantes en los nacidos vivos es de aproximadamente el 2,24 % (Nelson y Holmes 1989). La prevalencia de defectos menores oscila entre el 3 y el 15 % (con una media de aproximadamente el 10 %). Las anomalías presentes en el nacimiento se asocian a factores genéticos (10,1 %), herencia multifactorial (23 %), factores uterinos (2,5 %), embarazo gemelar (0,4 %) o factores teratógenos (3,2 %). Las causas de los demás casos son desconocidas. Las tasas de malformación son aproximadamente un 41 % más elevadas en los niños que en las niñas, lo que se explica por la incidencia significativamente más elevada de anomalías en los órganos genitales masculinos. Al estudiar las malformaciones, la forma de agrupar los defectos para su análisis constituye todo un reto. Las anomalías se pueden clasificar en función de diversos parámetros, como la gravedad (mayor, menor), la patogenia (deformación, ruptura), la presentación (asociadas o aisladas), la anatomía (por sistemas orgánicos) y la etiología (por ejemplo, cromosómicas, defectos génicos aislados o inducidas por un teratógeno).

A menudo, todas ellas están combinadas o la combinación se basa indistintamente en una clasificación como mayor o menor. Malformación mayor se puede definir como aquella que produce la muerte, requiere tratamiento médico o quirúrgico, o constituye una minusvalía física o psicológica importante. La justificación para clasificar las anomalías en grandes grupos se basa en que la mayoría se producen aproximadamente en el mismo período durante la organogénesis. Por ello, manteniendo unos tamaños de muestreo más grandes, el número total de casos aumenta con un incremento simultáneo de la potencia estadística. No obstante, si el efecto de la exposición es específico de un tipo particular de malformación (por ejemplo, sistema nervioso central), esta clasificación puede enmascarar el efecto. Por otro lado, las malformaciones se pueden agrupar por sistemas orgánicos. Aunque este método es en ocasiones más adecuado, existe la posibilidad de que ciertos defectos dominen la clase, como las deformaciones en varo de los pies en el sistema musculoesquelético. Si disponemos de una muestra suficientemente grande, el enfoque óptimo consiste en dividir los defectos en grupos homogéneos desde el punto de vista embriológico o patogenético (Källén 1988). Se debe considerar la exclusión o inclusión de determinadas malformaciones, como las que están causadas probablemente por defectos cromosómicos, trastornos autonómicos dominantes o anomalías posturales en el útero. En última instancia, al analizar las anomalías congénitas, hay que mantener un equilibrio entre conservar la precisión y comprometer la potencia estadística.

Una serie de sustancias tóxicas ambientales y profesionales ha sido asociada a las anomalías congénitas de la descendencia.

Una de las asociaciones más fuertes es el consumo por parte de la madre de alimentos contaminados con metil mercurio, que produce anomalías morfológicas, del sistema nervioso central y del neurocomportamiento. En Japón, el grupo de casos estaba relacionado con el consumo de pescado y marisco contaminados con mercurio procedente de los vertidos de una planta química.

La afectación más grave de la descendencia fueron los niños con parálisis cerebral. La ingestión materna de bifenilos policlorados (BPC) procedentes de aceite de arroz contaminado fue la causa de que varios lactantes presentaran diversas alteraciones, como retraso del crecimiento, pigmentación marrón oscuro de la piel, dentición precoz, hiperplasia gingival, sutura sagital ancha, edema facial y exoftalmos. Los trabajos que implican la exposición a mezclas han sido relacionados con diversos resultados adversos. Los hijos de mujeres que trabajan en la industria papelera, tanto en trabajo de laboratorio como en tareas relacionadas con la “transformación” o refinado de papel, también presentaban un riesgo más elevado de defectos del sistema nervioso central, de corazón y de fisura en la cavidad oral. Las mujeres que trabajaban en la industria o en la construcción con exposiciones no especificadas tenían un aumento del 50 % en el riesgo de defectos del SNC, y las que trabajaban en transportes y comunicaciones presentaban el doble de riesgo de tener un hijo con fisura de la cavidad oral. Los veterinarios representan un grupo especial dentro del personal sanitario expuesto a gases anestésicos, radiación, traumatismos por coces de animales, insecticidas y zoonosis. Aunque no se detectó ninguna diferencia en la tasa de abortos espontáneos o en el peso al nacimiento de los hijos entre mujeres veterinarias y mujeres abogadas, se observó un exceso significativo de defectos al nacimiento entre las del primer grupo (Schenker y cols. 1990). Existen listas de teratógenos conocidos, posibles e improbables, así como bases de datos informáticas y servicios telefónicos de información sobre riesgos para obtener información actualizada sobre los teratógenos potenciales (Paul 1993). No obstante, la evaluación de las anomalías congénitas en una cohorte profesional presenta una dificultad especial, debido al gran tamaño de la muestra necesario para lograr potencia estadística y a nuestra limitada capacidad para identificar

exposiciones específicas que se producen en un intervalo breve de tiempo, fundamentalmente los primeros 55 días de la gestación.

Pequeños para la edad gestacional

Entre los numerosos factores relacionados con la supervivencia infantil, el subdesarrollo físico asociado al bajo peso al nacimiento (BPN) representa uno de los riesgos más importantes. La ganancia significativa de peso del feto no empieza hasta el segundo trimestre. El embrión pesa 1 g a las ocho semanas, 14 g a las 12 semanas y alcanza 1,1 kg a las 28 semanas. Se produce una ganancia adicional de 1,1 kg cada 6 semanas hasta el nacimiento.

El recién nacido normal pesa aproximadamente 3.200 g a término. El peso del recién nacido depende de su ritmo de crecimiento y de su edad gestacional en el momento del parto. Se dice que un neonato es pequeño para su edad gestacional (PEG) cuando presenta un retraso del crecimiento. Si el feto nace antes de término, tendrá un peso reducido pero su crecimiento no tiene necesariamente que estar retrasado. Los factores asociados a un parto antes de término se tratan en otro punto, por lo que este análisis se centra en el retraso del crecimiento del neonato.

Los términos PEG y BPN se utilizarán indistintamente. El niño con bajo peso al nacimiento se define como el que pesa menos de 2.500 g, el neonato de muy bajo peso al nacimiento es aquel que pesa menos de 1.500 g, y el de extremadamente bajo peso al nacimiento es el que pesa menos de 1.000 g (OMS 1969).

Cuando se examinan las causas del retraso del crecimiento, es importante distinguir entre el retraso simétrico y el asimétrico. Este último, es decir, aquél en que el peso está más afectado que la estructura esquelética, se asocia fundamentalmente a un factor de riesgo que actúa durante la última parte de la gestación, mientras que el primero se asocia más probablemente a una etiología que actúa a lo largo de toda la gestación (Kline, Stein y Susser 1989). La diferencia de incidencias entre uno y otro es especialmente evidente cuando se comparan los países en vías de desarrollo con los desarrollados. La tasa de retraso del crecimiento en los países en desarrollo es del 10-43 % y es básicamente simétrico, siendo el factor de riesgo más importante la alimentación deficiente. En los países desarrollados, la tasa de

retraso del crecimiento fetal es habitualmente mucho menor, del 3-8 %, y es generalmente asimétrico, con una etiología multifactorial. De ahí que, en todo el mundo, el porcentaje de recién nacidos con bajo peso al nacimiento, que lo son por crecimiento intrauterino retardado y no por prematuridad, varía espectacularmente.

En Suecia y en Estados Unidos, el porcentaje es de un 45 %, mientras que en los países en vías de desarrollo, como la India, varía entre el 79 % y el 96 % aproximadamente (Villar y Belizan 1982).

Estudios sobre la hambruna en los Países Bajos demostraron que el hambre limitada al tercer trimestre frenó el crecimiento fetal de forma asimétrica, afectando especialmente al peso al nacimiento y en menor medida al perímetro craneal (Stein, Susser y Saenger 1975).

El crecimiento asimétrico también se ha observado en los estudios de exposiciones ambientales. En un estudio de 202 madres gestantes que residían en zonas de riesgo elevado de exposición al plomo, se tomaron muestras de sangre materna prenatal entre la sexta y la 28ª semanas de gestación (Bornschein, Grote y Mitchell 1989). Los niveles sanguíneos prenatales de plomo (PbS) se asociaron a un descenso tanto de peso como de la talla al nacimiento, pero no del perímetro craneal después de ajustar otros factores de riesgo importantes, como la duración de la gestación, la situación socioeconómica y el consumo de alcohol y de cigarrillos. La presencia de plomo en la sangre materna como un factor de riesgo para la talla al nacimiento se observó exclusivamente en neonatos de raza blanca.

La talla al nacimiento de los niños de raza blanca disminuyó aproximadamente 2,5 cm por unidad logarítmica de plomo que aumentaba en la sangre materna. Se debe prestar atención especial a las decisiones para seleccionar la variable del resultado. Si sólo se hubiera seleccionado el peso al nacimiento para el estudio, el hallazgo de los efectos del plomo sobre otros parámetros del crecimiento podría haber sido pasado por alto. Además, si se hubieran mezclado los neonatos de raza blanca y los afroamericanos en el análisis citado previamente, los efectos diferentes sobre los de raza blanca, quizás debidos a diferencias genéticas en la capacidad de almacenamiento y fijación del plomo, podían haber pasado desapercibidos. También se observó un factor de confusión importante entre el plomo presente en la sangre materna prenatal y la edad materna y el peso del hijo al nacer, después de ajustar otras covariables. Los resultados indican que, en una mujer de 30 años de edad, con un nivel estimado de plomo en sangre de 20

µg/dl, el neonato pesaba 2.500 g, frente a los 3.000 g del hijo de una mujer de 20 años de edad con niveles de plomo similares. Los investigadores señalan que esta diferencia puede indicar que las mujeres de más edad son más sensibles a la agresión adicional de la exposición al plomo o que han tenido una carga total de plomo más alta debido al mayor número de años de exposición o a los mayores niveles de plomo en el ambiente cuando ellas eran niñas. Otro factor puede ser el aumento de la presión arterial.

No obstante, la lección más importante es que acaso sea necesario realizar una exploración minuciosa de las subpoblaciones de alto riesgo por razón de edad, raza, situación económica, hábitos de la vida diaria, sexo del neonato y otras diferencias genéticas para descubrir los efectos más sutiles de las exposiciones sobre el crecimiento y el desarrollo fetal.

Los factores de riesgo asociados al bajo peso al nacimiento se resumen en la Tabla 9.5. La clase social, considerada como el nivel de ingresos y/o de educación, persiste como factor de riesgo en los casos en que no existen diferencias étnicas. Otros factores que pueden actuar además de la clase social y/o raza son el consumo de cigarrillos, el trabajo físico, la atención prenatal y la nutrición. Las mujeres de edades comprendidas entre los 25 y los 29 años tienen menos probabilidades de dar a luz un neonato con retraso del crecimiento. El consumo de tabaco por parte de la madre aumenta el riesgo de bajo peso en el neonato al nacimiento aproximadamente en un 200 %. Algunos de los trastornos médicos maternos asociados al BPN son las anomalías placentarias, enfermedades cardíacas, neumonía vírica, enfermedades hepáticas, preeclampsia, eclampsia, hipertensión crónica, aumento de peso e hiperemesis.

El antecedente gestacional adverso de pérdida fetal, parto prematuro o hijo anterior con BPN aumenta de dos a cuatro veces el riesgo de que la gestación actual finalice en un neonato prematuro con bajo peso al nacimiento. El intervalo inferior a un año entre partos triplica el riesgo de tener un hijo con bajo peso al nacimiento. Entre las anomalías cromosómicas asociadas a un crecimiento anormal están el síndrome de Down, la trisomía 18 y la mayoría de los síndromes que se acompañan de malformación.

El consumo de cigarrillos es uno de los comportamientos asociados más directamente con el nacimiento de neonatos de bajo peso. Se ha demostrado que el consumo de tabaco por la madre durante el embarazo aumenta de dos a tres veces el riesgo de bajo peso al nacimiento en

el hijo y de un déficit global de peso de 150-450 g. Se considera que la nicotina y el monóxido de carbono son los agentes causales más probables, ya que ambos son transferidos rápida y preferencialmente a través de la placenta. La nicotina es un vasoconstrictor potente y se han demostrado diferencias significativas en el tamaño de los vasos umbilicales de las madres fumadoras. Los niveles de monóxido de carbono presentes en el humo de los cigarrillos oscilan entre 20.000 y 60.000 ppm. El monóxido de carbono tiene una afinidad por la hemoglobina 210 veces superior a la del oxígeno y, debido a la disminución de la presión parcial de oxígeno en la sangre arterial, el feto está especialmente comprometido. Otros autores señalan que estos efectos no se deben al consumo de tabaco, sino que forman parte de las características de los fumadores. Es cierto que los trabajos con exposición potencial al monóxido de carbono, como los que se desarrollan en la industria papelera, altos hornos, fábricas de acetileno, destilerías, producción de negro de humo, hornos de coque, talleres de reparación, síntesis de productos químicos orgánicos y refinerías de petróleo, parecen tener un riesgo elevado para las empleadas embarazadas.

El etanol se utiliza asimismo ampliamente y ha sido objeto de investigación como agente asociado al retraso de crecimiento fetal (y al desarrollo de anomalías congénitas). En un estudio prospectivo de 9.236 nacimientos, se descubrió que el consumo diario por parte de la madre de más de 4,4 g de alcohol se asociaba a un aumento de nacimientos de feto muerto y de niños con retraso del crecimiento (Kaminski, Rumeau y Schwartz 1978).

El consumo de alcohol también se relaciona con disminución de la talla y del perímetro craneal.

Al evaluar los posibles efectos de las exposiciones sobre el peso al nacimiento, se deben tener en cuenta algunos aspectos problemáticos.

Hay que considerar el parto antes de término como un resultado intermedio, así como los posibles efectos sobre la edad gestacional. Además, las gestaciones con una duración más prolongada también tienen más posibilidades de exposición. Si existe un número suficiente de mujeres que trabajan en las últimas semanas del embarazo, la exposición acumulada más prolongada puede estar asociada a una edad gestacional más avanzada, considerando los

neonatos de mayor peso simplemente como un artefacto. Existen distintos procedimientos para salvar este problema, tales como una variante del modelo de regresión de la tabla de vida de Cox, que permite modificar las covariables dependientes del tiempo.

Otro de los problemas se centra en la definición del bajo peso al nacimiento. A menudo, los estudios definen este término como una variable dicotómica: menos de 2,500 g. La exposición, sin embargo, debe tener un efecto muy poderoso para provocar una reducción drástica del peso del neonato. El peso al nacimiento definido como una variable continua y analizado mediante un modelo de regresión múltiple permite detectar mejor los efectos sutiles. La relativa escasez de hallazgos significativos relacionados con las exposiciones profesionales y los neonatos pequeños para la edad gestacional puede deberse, en parte, al olvido de estos aspectos relativos al diseño y al análisis

Los estudios de los resultados adversos en el embarazo deben caracterizar las exposiciones durante un intervalo de tiempo bastante breve. Si la mujer ha sido trasladada a otro trabajo o ha dejado de trabajar durante un período crítico de tiempo, como la organogénesis, la relación entre la exposición y el efecto ocasionado puede quedar seriamente alterada. Por lo tanto, el investigador ha de identificar la exposición de la mujer durante un breve período crítico de tiempo, mientras que, en otros estudios de enfermedades crónicas, los errores de varios meses, o incluso años, tienen un efecto mínimo. En los estudios de exposiciones profesionales suelen evaluarse el retraso del crecimiento intrauterino, las anomalías congénitas y los abortos espontáneos. Se dispone de una pluralidad de enfoque para evaluar cada resultado. Estos criterios de valoración tienen importancia para la salud pública, tanto por el coste psicológico para el individuo como por los costes económicos implícitos. Por lo general, se ha observado una inespecificidad de la relación exposición-efecto-exposiciones, como las debidas al plomo, los gases anestésicos o los disolventes. Ante esta posible inespecificidad en la relación exposición-efecto, es necesario diseñar estudios que evalúen los distintos criterios de valoración asociados a un conjunto de mecanismos.

Hay que tener en cuenta que:

- Las sustancias presentes en el pelo, la ropa o las manos de los padres pueden transferirse a los niños.

- La leche materna es otra fuente potencial de exposición para el lactante, los beneficios potenciales de la nutrición materna sobrepasan con creces los potenciales efectos tóxicos de los compuestos químicos presentes en la leche.

En algunos de los efectos sobre la salud examinados en relación con la exposición neonatal, es difícil diferenciar entre episodios pre y postnatales. Exposiciones que se inician antes del nacimiento (por vía placentaria) pueden continuar activas durante la primera infancia. El plomo y el humo de tabaco del medio ambiente se han asociado con deficiencias del desarrollo cognitivo y la función pulmonar, tanto antes como después del nacimiento. En la presente revisión tratamos de centrarnos en las exposiciones postnatales y en sus efectos sobre la salud de los niños muy pequeños.

A1.4.3. TÓXICOS PARA LA REPRODUCCIÓN (TOXICIDAD REPRODUCTIVA)

La infertilidad de causa tóxica en hombres y mujeres es un tema de reciente interés en el marco de los peligros profesionales. La *toxicidad reproductiva* ha sido definida como la aparición de efectos adversos en el sistema reproductor, secundarios a la exposición a agentes ambientales. Se expresa en forma de distintas alteraciones de los órganos reproductivos y/o del sistema endocrino relacionado. Sus manifestaciones pueden ser:

- alteraciones del comportamiento sexual;
- reducción de la fertilidad;
- resultados adversos del embarazo;
- modificaciones de otras funciones que dependen de la integridad del sistema reproductor.

Los mecanismos subyacentes en la toxicidad reproductiva son complejos. Se han ensayado y demostrado más sustancias tóxicas para el proceso reproductor masculino que para el femenino. Sin embargo, se desconoce si ello se debe a diferencias implícitas en la toxicidad o a la mayor facilidad para estudiar el esperma que los ovocitos.

A1.4.3.1. INTERACCIONES DE TÓXICOS CON EL SISTEMA REPRODUCTOR MASCULINO¹⁴

La espermatogénesis y la espermiogénesis son los procesos celulares que producen células sexuales masculinas maduras. Se desarrollan dentro de los túbulos seminíferos de los testículos del varón sexualmente maduro

Acciones tóxicas sobre la espermatogénesis y la espermiogénesis

Las sustancias tóxicas presentes en los laboratorios pueden alterar la espermatogénesis en varios puntos. Las más lesivas, debido a su irreversibilidad, son las que matan o alteran genéticamente (fuera del alcance de los mecanismos de reparación) las espermatogonias o las células de Sertoli. Estudios realizados en animales han permitido determinar la fase en la que una sustancia tóxica ataca el proceso de espermatogénesis. Estos estudios emplean exposiciones breves a una sustancia tóxica antes de muestrear para determinar el efecto. Conociendo la duración de cada fase de la espermatogénesis, se puede realizar una extrapolación para estimar la fase afectada.

El análisis bioquímico del líquido seminal aporta datos sobre la función de las glándulas sexuales accesorias. Las sustancias químicas que segregan fundamentalmente cada una de esas glándulas se seleccionan específicamente para actuar como marcadores de las mismas. Por ejemplo, el epidídimo está representado por la GPC, las vesículas seminales por la fructosa y la próstata por el zinc. Hay que señalar que este tipo de análisis ofrece sólo una información general sobre la función glandular, y poca o ninguna sobre los demás componentes secretores. La determinación del pH y la osmolalidad del semen proporciona información general adicional sobre la naturaleza del líquido seminal.

El líquido seminal se puede analizar para determinar la presencia de una sustancia tóxica o de sus metabolitos. Se han detectado en él metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica, mientras que los hidrocarburos halogenados se han cuantificado mediante cromatografía gaseosa tras extracción o filtración de limitación proteica (Stachel y cols. 1989; Zikarge 1986).

¹⁴ Extraído y adaptado del artículo de la Enciclopedia OIT, capítulo 9. Steven Schrader y Grace Kawas Lemasters

La viabilidad y movilidad de los espermatozoides en el líquido seminal representa típicamente la calidad del mismo. Las alteraciones de la viabilidad de los espermatozoides, determinadas mediante exclusión por tinción o por edema hipoosmótico, o las alteraciones de los parámetros de la movilidad del esperma sugieren efectos tóxicos postesticulares. Los análisis de semen pueden indicar también si la producción de espermatozoides ha resultado afectada por una sustancia tóxica. El recuento y la morfología de los espermatozoides ofrecen índices de la integridad de la espermatogénesis y de la espermiogénesis. Así, el número de espermatozoides presentes en la eyaculación es directamente proporcional al de células germinales por gramo de testículo (Zuckerman y cols. 1978), mientras que la morfología anormal probablemente es consecuencia de una espermiogénesis anormal. La presencia de espermatozoides muertos o inmóviles refleja con frecuencia los efectos de episodios postesticulares. Por tanto, el tipo o el momento de un efecto tóxico pueden indicar el destino de la sustancia tóxica.

Así, la exposición de ratas macho a 2-metoxietanol determina fertilidad reducida en el curso de cuatro semanas (Chapin y cols. 1985). Esta prueba, corroborada por observaciones histológicas, indica que el destino de la sustancia tóxica son los espermatocitos (Chapin y cols. 1984). Aunque no es ético exponer deliberadamente a seres humanos a sustancias que podrían ser tóxicas para la reproducción, los análisis de semen de series de eyaculaciones de varones expuestos inadvertidamente durante tiempos breves a sustancias potencialmente tóxicas pueden aportar información valiosa similar.¹⁵

La exposición profesional al 1,2-dibromocloropropano (DBCP) redujo la concentración de espermatozoides en los eyaculados desde un valor medio de 79 millones células/ml en hombres no expuestos a 46 millones células/ml en trabajadores expuestos (Whorton y cols. 1979). Con el traslado de éstos, los que presentaban un recuento reducido experimentaron una recuperación parcial, mientras que los azoospermicos permanecieron estériles. La biopsia testicular reveló que el objetivo del DBCP eran las espermatogonias. Esto explica la gravedad del

¹⁵ Como consecuencia de la realización de esta investigación, tuve la oportunidad de participar como docente en un curso dirigido a trabajadores y trabajadoras del Servicio Andaluz de Salud y que organizado por el SAS en Granada, marzo de 2003 se tituló: "Agentes tóxicos en la reproducción en el ámbito laboral" en el cual tuvimos la oportunidad de hacer público nuestras consideraciones al respecto.

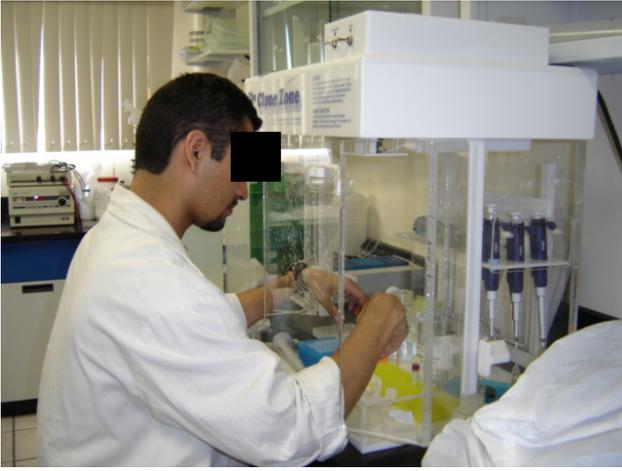
efecto resultante cuando el objetivo de las sustancias tóxicas son las células madre. No hubo indicios de que la exposición al DBCP de los varones se asociara a resultados adversos del embarazo (Potashnik y Abeliovich 1985). Otro ejemplo de efecto tóxico sobre la espermatogénesis/espermiogénesis fue el estudio de los trabajadores expuestos al dibromuro de etileno (EDB). Presentaban más espermatozoides con cabeza fusiforme y un menor número de espermatozoides por eyaculado que los controles (Ratcliffe y cols. 1987).

La lesión genética es difícil de detectar en los espermatozoides humanos. Varios estudios realizados en animales utilizando el ensayo letal dominante (Ehling y cols. 1978) indican que la exposición paterna puede dar resultados adversos en el embarazo.

Estudios epidemiológicos con grandes poblaciones han demostrado un aumento de la frecuencia de abortos espontáneos entre mujeres cuya pareja trabajaba como mecánico de vehículos de motor (McDonald y cols. 1989). Indican así la necesidad de desarrollar métodos de detección de las lesiones genéticas en los espermatozoides humanos. Estos métodos se están desarrollando en varios laboratorios y entre ellos figuran las sondas de ADN para detectar mutaciones genéticas (Hecht 1987), el cariotipo de los cromosomas del espermatozoide (Martin 1983) y evaluación de la estabilidad del ADN por citometría de flujo (Evenson 1986).

La Figura siguiente presenta las exposiciones cuyo efecto sobre la calidad de los espermatozoides es conocido, y la Tabla 9.2 ofrece un resumen de los resultados de los estudios epidemiológicos realizados acerca de los efectos paternos sobre los resultados reproductivos.

Figura A.4.1. Exposiciones sobradamente asociadas en con efectos adversos para la calidad del semen.

<ul style="list-style-type: none">• DBCP• Kepone• Plomo• CH₂Cl₂• Br₂• Percloroetileno• Eteres de etilenglicol• Dibromuro de etileno• Estireno y acetona (producción de plásticos)• TDA y DNT• Carbaril (Sevin)	
---	---

Alteraciones sobre el sistema neuroendocrino

El funcionamiento general del sistema reproductor está controlado por el sistema nervioso y por las hormonas producidas por las glándulas (sistema endocrino). El eje neuroendocrino reproductivo del varón está formado fundamentalmente por el sistema nervioso central (SNC), la hipófisis anterior y los testículos. El hipotálamo integra las señales procedentes del SNC y de la periferia, y regula directamente la secreción de gonadotropinas a cargo de la hipófisis anterior. A su vez, las gonadotropinas actúan principalmente sobre las células de Leydig del intersticio y las células de Sertoli y las germinales que se encuentran en los túbulos seminíferos para regular la espermatogénesis y la producción hormonal de los testículos. Hay tóxicos que influyen en los equilibrios de estos sistemas hormonales, modificando así la capacidad y producción hormonal e influyendo por tanto el sistema reproductor.

Tabla A.4.6. Tipo de exposición o profesión y asociación con el efecto.

Referencia ¹⁶	Tipo de exposición o profesión	Asociación con la exposición	Efecto
Lindbohm y cols. 1984	Disolventes	-	Aborto espontáneo
Lindbohm y cols. 1984	Estación de servicio	+	Aborto espontáneo
Daniell y Vaughan 1988	Disolventes orgánicos	-	Aborto espontáneo
McDonald y cols. 1989	Mecánica	+	Aborto espontáneo
McDonald y cols. 1989	Procesamiento de alimentos	+	Defectos de desarrollo
Lindbohm y cols. 1991a	Óxido de etileno	+	Aborto espontáneo
Lindbohm y cols. 1991a	Refinería de petróleo	+	Aborto espontáneo
Lindbohm y cols. 1991a	Barnices para madera	+	Aborto espontáneo
Lindbohm y cols. 1991a	Sustancias químicas relacionadas con la goma	+	Aborto espontáneo
Olsen y cols. 1991	Metales	+	Riesgo de cáncer infantil
Olsen y cols. 1991	Maquinistas	+	Riesgo de cáncer infantil
Olsen y cols. 1991	Herreros	+	Riesgo de cáncer infantil
Kristensen y cols. 1993	Disolventes	+	Parto pretérmino
Kristensen y cols. 1993	Plomo y disolventes	+	Parto pretérmino
Kristensen y cols. 1993	Plomo	+	Muerte perinatal
Kristensen y cols. 1993	Plomo	+	Morbilidad del niño varón
Estudios de casos controles			
Kucera 1968	Industria de la impresión	(+)	Labio leporino
Kucera 1968	Pintura	(+)	Paladar hendido
Olsen 1983	Pintura	+	Lesión del sistema nervioso central
Olsen 1983	Disolventes	(+)	Lesión del sistema nervioso central
Sever y cols. 1988	Radiación de bajo nivel	+	Defectos del tubo neural
Taskinen y cols. 1989	Disolventes orgánicos	+	Aborto espontáneo
Taskinen y cols. 1989	Hidrocarburos aromáticos	+	Aborto espontáneo
Taskinen y cols. 1989	Polvo	+	Aborto espontáneo
Gardner y cols. 1990	Radiación	+	Leucemia infantil
Bonde 1992	Soldadura	+	Retraso en la concepción
Wilkins y Sinks 1990	Agricultura	(+)	Tumor cerebral infantil
Wilkins y Sinks 1990	Construcción	(+)	Tumor cerebral infantil
Wilkins y Sinks 1990	Procesamiento de alimentos/tabaco	(+)	Tumor cerebral infantil
Wilkins y Sinks 1990	Metal	+	Tumor cerebral infantil
Lindbohm y cols. 1991b	Plomo	(+)	Aborto espontáneo
Sallmen y cols. 1992	Plomo	(+)	Defectos congénitos

¹⁶ Estudios de población basados en historias clínicas

Veulemans y cols. 1993	Éter de etilenglicol	+	Espermiograma anormal
Chia y cols. 1992	Metales	+	Cadmio en el semen

Significado de los signos:

- sin asociación significativa;	(+) asociación significativa límite;	+ asociación significativa.
---------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------

Los efectos evidentes de una exposición tóxica dirigida al sistema neuroendocrino reproductivo se ponen de manifiesto con más probabilidad mediante la alteración de las manifestaciones biológicas de los andrógenos. Entre las manifestaciones reguladas significativamente por los andrógenos en el varón adulto que se pueden detectar en una exploración física básica figuran los siguientes: 1) retención de nitrógeno y desarrollo muscular, 2) mantenimiento de los genitales externos y órganos sexuales accesorios, 3) mantenimiento del aumento de tamaño de la laringe y del engrosamiento de las cuerdas vocales responsables de la voz varonil, 4) crecimiento de la barba, vello axilar y púbico y recesión temporal del cabello y calvicie, 5) libido y actividad sexual, 6) proteínas específicas de órganos en los tejidos (p. ej., hígado, riñones, glándulas salivares) y 7) conducta agresiva (Bardin 1986). La modificación de cualquiera de estos rasgos puede indicar que la producción de andrógenos está afectada.

Ejemplos de efectos producidos por sustancias tóxicas

El plomo es un ejemplo clásico de sustancia tóxica que afecta directamente al sistema neuroendocrino. Se observó que las concentraciones séricas de LH¹⁷ estaban elevadas en varones expuestos al plomo durante menos de un año. Este efecto no progresó en varones expuestos durante más de cinco años. Los niveles séricos de FSH¹⁸ no resultaron afectados. Por otra parte, los niveles séricos de PFA¹⁹ estaban elevados y los de testosterona total reducidos en los varones expuestos al plomo durante más de cinco años. Los niveles séricos de testosterona libre estaban significativamente reducidos tras la exposición al plomo durante tres a cinco años (Rodamilans y cols. 1988). Por el contrario, las concentraciones séricas de FSH, LH, testosterona total, prolactina y 17-cetoesteroides neutros totales no estaban alteradas en trabajadores con niveles de plomo circulante menores, aunque la frecuencia de distribución del recuento de espermatozoides estaba alterada (Assennato y cols. 1986).

¹⁷ LH es la Hormona Luteinizante

¹⁸ FSH es la hormona estimuladora de los folículos

¹⁹ PFA es la proteína fijadora de andrógenos

La exposición de los pintores de astilleros al 2-etoxietanol también redujo el recuento de espermatozoides sin una modificación simultánea de las concentraciones séricas de FSH, LH ni testosterona (Welch y cols. 1988). El 2-etoxietanol es un producto que en varias ocasiones hemos podido identificar en nuestros laboratorios.

Estos hechos evidencian que ciertas las sustancias tóxicas pueden afectar a la producción de hormonas y al recuento de espermatozoides independientemente.

Los varones que trabajaban con el nematocida DBCP experimentaron un ascenso de los niveles séricos de LH y FSH y una reducción del recuento de espermatozoides y de la fertilidad. Estos efectos parecen ser secuelas de las acciones sobre las células de Leydig del DBCP, que altera la producción o la acción de los andrógenos (Mattison y cols. 1990).

Varios compuestos pueden ejercer toxicidad a través de una semejanza estructural con las hormonas esteroides reproductivas. Así, mediante su unión al receptor endocrino respectivo, las sustancias tóxicas pueden actuar como agonistas o antagonistas, alterando las respuestas biológicas.

El clordecono (Kepone), insecticida que se une a los receptores de estrógenos, redujo el recuento y la movilidad de los espermatozoides, detuvo la maduración espermática y redujo la libido. Aunque resulta tentador sugerir que estos efectos son consecuencia de la interferencia del clordecono con las acciones de los estrógenos a nivel neuroendocrino o testicular, no se demostró que los niveles séricos de testosterona, LH ni FSH estuvieran alterados en estos estudios de una forma semejante a la de los efectos derivados del tratamiento con estradiol. El DDT y sus metabolitos también muestran propiedades esteroides y se podría esperar que alterara la función reproductiva masculina interfiriendo con las funciones de las hormonas esteroides.

Sustancias xenobióticas como los bifenilos policlorados, polibromados y los plaguicidas organoclorados también pueden interferir con las funciones reproductivas masculinas ejerciendo una actividad agonista/antagonista estrogénica (Mattison y cols. 1990).

Alteraciones en la función sexual masculina

El concepto de función sexual humana hace referencia a las actividades integradas de los testículos y de las glándulas sexuales secundarias, los sistemas endocrinos de control y los componentes conductuales y psicológicos de la reproducción localizadas en el sistema nervioso central (libido). La erección, la eyaculación y el orgasmo son tres procesos fisiológicos y psicodinámicos diferentes que normalmente aparecen de forma simultánea en los varones. Se dispone de pocos datos fiables acerca de los efectos de la exposición profesional sobre la función sexual debido a los problemas descritos anteriormente. Se ha demostrado que distintos fármacos afectan a cada una de las tres fases de la función sexual del varón (Fabro 1985), lo que indica que las exposiciones profesionales pueden ejercer efectos semejantes.

La amplia y variada gama de productos farmacéuticos de los que se ha demostrado que afectan al sistema reproductor masculino apoyan la idea de que las sustancias químicas presentes en el lugar de trabajo también pueden actuar como sustancias tóxicas reproductivas. Es necesario disponer de métodos de investigación fidedignos y prácticos adaptados a las características de los estudios de campo para evaluar esta área importante de la toxicología reproductiva.

A1.4.3.2. INTERACCIONES CON EL SISTEMA REPRODUCTOR FEMENINO²⁰

El sistema reproductor femenino está controlado por elementos del sistema nervioso central (SNC), como el hipotálamo y la hipófisis. Está constituido por los ovarios, las trompas de Falopio, el útero y la vagina (Figura 9.4). Los ovarios, que son las gónadas femeninas, son la fuente de los ovocitos y también sintetizan y segregan estrógenos y progestágenos, las principales hormonas femeninas. Las trompas de Falopio transportan los ovocitos desde el ovario hasta el útero y el esperma desde el útero hacia los ovocitos. El útero es un órgano muscular piriforme, cuya región superior comunica con la cavidad abdominal a través de las trompas de Falopio, mientras que su región inferior se continúa, a través del estrecho conducto del cuello uterino, con la vagina, que se comunica con el exterior. La Tabla 9.3 resume los compuestos, manifestaciones clínicas, lugar y mecanismo de acción de las sustancias tóxicas reproductivas potenciales.

²⁰ Donald R. Mattison." Interacciones con el Sistema reproductor femenino". Enciclopedia OIT.

Tabla A.4.7. Compuestos, manifestaciones clínicas y órganos afectados.

Compuesto		Manifestación clínica	Órgano	Mecanismo/diana
Reactividad química				
Agentes alquilantes	Menstruación alterada		Ovario	Citotoxicidad para los granulocitos
	Amenorrea			Citotoxicidad para los ovocitos
	Atrofia ovárica		Útero	Citotoxicidad para las células endometriales
	Fertilidad reducida			
	Menopausia prematura			
Plomo	Menstruación alterada		Hipotálamo	Disminución de FSH
	Atrofia ovárica		Pituitaria	Disminución de progesterona
	Fertilidad reducida		Ovario	
Mercurio	Menstruación alterada		Hipotálamo	Producción y secreción de gonadotropina alterada
			Ovario	Toxicidad folicular
				Proliferación de granulocitos
Cadmio	Atresia folicular		Ovario	Toxicidad vascular
	Diestro persistente		Pituitaria	Citotoxicidad para los granulocitos
			Hipotálamo	Citotoxicidad
	Similitud estructural			
	Azatioprina Reducción del número de folículos		Ovario	Análogo de la purina
			Ovogénesis	Alteración de la síntesis de ADN/ARN
Clordecono	Fertilidad reducida		Hipotálamo	Agonista del estrógeno
DDT	Menstruación alterada		Pituitaria	Alteración de FSH, LH
2,4-D	Infertilidad			
Lindano	Amenorrea			
Toxafeno	Hipermenorrea			
PCB, PBB	Menstruación alterada			Alteración de FSH, LH

El hipotálamo y la hipófisis

El hipotálamo se localiza en el diencéfalo, que se ubica sobre el tronco del encéfalo y está rodeado por los hemisferios cerebrales. Es el intermediario principal entre los sistemas nervioso y endocrino, los dos principales sistemas de control del organismo. Regula la hipófisis y la producción hormonal. La función reproductiva del hipotálamo puede resultar alterada por cualquier episodio que sea capaz de modificar la frecuencia o amplitud de la liberación pulsátil de hormona liberadora de gonadotropina (GnRH). Los procesos que pueden resultar afectados químicamente son los que intervienen en la síntesis y secreción de GnRH, específicamente los de transcripción o traducción, empaquetamiento o transporte axonal y los mecanismos de secreción. Todos ellos representan puntos en los que compuestos químicamente reactivos de acción directa pueden interferir con la síntesis o la liberación hipotalámicas de GnRH. La alteración de la frecuencia o amplitud del pulso de GnRH puede ser secundaria a trastornos de las vías estimuladoras o inhibitoras que regulan la liberación de GnRH. Al investigar la regulación del generador de pulsos de GnRH, se ha demostrado que las catecolaminas, la dopamina, la serotonina, el ácido γ -aminobutírico y las endorfinas son capaces de alterar la liberación de GnRH. Por tanto, las sustancias xenobióticas que sean agonistas o antagonistas de estos compuestos podrían modificar la liberación de GnRH, interfiriendo así en la comunicación con la hipófisis.

La prolactina, la hormona estimulante del folículo (FSH) y la hormona luteinizante (LH) son tres hormonas proteicas segregadas por la hipófisis anterior que son esenciales para la reproducción.

Desempeñan un papel crítico en el mantenimiento del ciclo ovárico, dirigiendo el reclutamiento y la maduración folicular, la esteroidogénesis, la finalización de la maduración de los ovocitos, la ovulación y la luteinización. El control preciso y afinado del sistema reproductor se lleva a cabo en la hipófisis anterior como respuesta a señales de retroalimentación positivas y negativas de las gónadas. La liberación adecuada de FSH y LH durante el ciclo ovárico controla el desarrollo folicular normal, y su ausencia causa amenorrea y atrofia gonadal. Las gonadotropinas desempeñan un papel crítico en la iniciación de cambios en la morfología del folículo ovárico y en sus microambientes esteroideos mediante la estimulación de la producción

de esteroides y la inducción de poblaciones de receptores. La liberación precisa y adecuada de estas gonadotropinas también es esencial para los episodios ovulatorios y el desarrollo de una fase lútea funcional. Dado que las gonadotropinas son esenciales para la función ovárica, la alteración de su síntesis, almacenamiento o secreción puede afectar seriamente la capacidad reproductiva. La interferencia de la expresión génica, tanto en las fases de transcripción o traducción como en las posteriores de traducción o empaquetamiento, o en los mecanismos de secreción, puede modificar el nivel de gonadotropinas que llegan a las gónadas. Sustancias químicas que actúan por semejanza estructural o por alteración de la homeostasis endocrina pueden producir efectos por interferencia con los mecanismos normales de retroalimentación. Los antagonistas y agonistas de los receptores esteroideos pueden iniciar una liberación inadecuada de gonadotropinas hipofisarias, induciendo de esta forma enzimas que metabolizan los esteroides, con la reducción consiguiente de la vida media de éstos y, por tanto, del nivel de esteroides circulantes que llegan a la hipófisis.

El ovario

El ovario de los primates es responsable del control de la reproducción a través de sus productos principales, ovocitos y hormonas esteroideas y proteicas. El proceso por el que se producen los ovocitos y las hormonas se denomina foliculogénesis y depende de mecanismos reguladores tanto intraováricos como extraováricos. El propio ovario tiene tres subunidades funcionales: el folículo, el ovocito y el cuerpo lúteo. Durante el ciclo menstrual normal, estos componentes, bajo la influencia de la FSH y la LH, actúan conjuntamente para producir un ovocito viable para la fertilización y un ambiente adecuado para la implantación y la gestación posterior. Durante el período preovulatorio del ciclo menstrual, se produce el reclutamiento y desarrollo folicular bajo la influencia de la FSH y la LH. Esta última estimula la producción de andrógenos por las células de la teca, mientras que la FSH estimula la aromatización de los andrógenos a estrógenos por las células de la granulosa y la producción de inhibina, una hormona proteica. La inhibina actúa sobre la hipófisis anterior, disminuyendo la liberación de FSH. Así se evita una estimulación excesiva del desarrollo folicular y se permite el desarrollo ininterrumpido del folículo dominante, el destinado a la ovulación. La producción de estrógenos aumenta, lo que estimula tanto el pico de secreción de LH, que provoca la ovulación, como los cambios celulares y secretores de la vagina, cuello, útero y oviducto, que mejoran la viabilidad y

transporte de los espermatozoides. En la fase postovulatoria, las células de la teca y la granulosa que permanecen en la cavidad folicular del ovocito ovulado forman el cuerpo lúteo y segregan progesterona. Esta hormona estimula al útero para que proporcione un ambiente apropiado para la implantación del embrión si se produce la fertilización. A diferencia de lo que sucede con la gónada masculina, la femenina tiene un número limitado de células germinales en el momento del nacimiento y, por tanto, es especialmente sensible a las sustancias tóxicas para la reproducción. Este tipo de exposición en la mujer puede producir una disminución de la fecundidad, aumento de las gestaciones malogradas, menopausia precoz o infertilidad.

El folículo, como unidad reproductiva básica del ovario, mantiene el delicado ambiente hormonal necesario para que tenga lugar el crecimiento y la maduración del ovocito.

Se sugiere que estos compuestos son directamente tóxicos para la reproducción basándose primordialmente en ensayos de toxicidad con animales de experimentación.

A medida que el folículo progresa desde folículo primordial a folículo preovulatorio (que contiene un ovocito en desarrollo), se producen numerosos cambios morfológicos y bioquímicos, y cada fase del crecimiento folicular presenta patrones característicos de sensibilidad a las gonadotropinas, producción de esteroides y vías de retroalimentación. Estas características sugieren que existe una serie de puntos en los que es posible la interacción con sustancias xenobióticas. Además, hay distintas poblaciones foliculares dentro del ovario, lo que complica la situación, posibilitando el desarrollo de una toxicidad diferencial. Los patrones de infertilidad inducidos por una sustancia química dependerían, pues, del tipo folicular afectado. Por ejemplo, un episodio de toxicidad sobre los folículos primordiales no produciría signos inmediatos de infertilidad, sino que acortaría el período de vida reproductiva. Por otro lado, un episodio de toxicidad sobre los folículos antrales o preovulatorios traería como consecuencia una pérdida inmediata de la función reproductiva.

El complejo folicular consta de tres componentes básicos: las células de la granulosa, las células de la teca y el ovocito. Cada uno de ellos tiene características que lo hacen específicamente sensible a la lesión química.

Varios investigadores han estudiado la metodología de la detección selectiva de sustancias xenobióticas responsables de la toxicidad en las células de la granulosa midiendo los efectos

sobre la producción de progesterona por parte de células de la granulosa en cultivo. La supresión con estradiol de la producción de progesterona por parte de las células de la granulosa se ha utilizado para verificar la sensibilidad de estas células.

El plaguicida p,p -DDT y su isómero o,p -DDT dan lugar a una supresión de la producción de progesterona con una potencia aparentemente igual a la del estradiol.

Por el contrario, plaguicidas como el malatión, el paratión y el dieldrín y el fungicida hexaclorobenceno no ejercen efecto alguno. Es necesario realizar un análisis detallado adicional de las respuestas de las células de la granulosa aisladas a sustancias xenobióticas para definir la utilidad de este sistema de ensayo. El atractivo de los sistemas aislados de este tipo es la economía y la facilidad de uso; sin embargo, es importante recordar que las células de la granulosa representan sólo un componente del sistema reproductor.

Las células de la teca proporcionan los precursores de los esteroides que sintetizan las células de la granulosa. Se cree que son reclutadas a partir de las células del estroma ovárico durante la formación y crecimiento del folículo. El reclutamiento puede implicar la proliferación de las células del estroma, así como la migración a las regiones que rodean al folículo.

Las sustancias xenobióticas que alteren la proliferación, migración y comunicación celular afectarán a la función de las células de la teca.

Las sustancias xenobióticas que alteran la producción tecal de andrógenos también pueden alterar la función folicular. Por ejemplo, las células de la teca producen los andrógenos que se metabolizan a estrógenos en las células de la granulosa. Se supone que las alteraciones de la producción de andrógenos por las células de la teca, tanto en el sentido de aumentos como de disminuciones, tienen un efecto importante sobre la función folicular. Por ejemplo, se cree que una producción excesiva de andrógenos por las células de la teca conduce a atresia folicular.

Además, la alteración de la producción de andrógenos por las células de la teca puede reducir la producción de estrógenos por las células de la granulosa. Cualquiera de estas circunstancias repercutirá claramente sobre el rendimiento reproductivo. En la actualidad se dispone de pocos datos sobre la vulnerabilidad de las células de la teca a las sustancias xenobióticas.

Aunque la información que define la vulnerabilidad de las células del ovario a las sustancias xenobióticas es escasa, existen datos que demuestran claramente que los ovocitos pueden resultar lesionados o destruidos por este tipo de agentes. Los agentes alquilantes destruyen los ovocitos en los seres humanos y en los animales de experimentación. El plomo produce toxicidad ovárica. El mercurio y el cadmio también producen lesión ovárica que puede estar mediada por toxicidad sobre el ovocito.

A1.4.4. MEDIDAS PREVENTIVAS EN EL TRABAJO CON CITOTÓXICOS.

El concepto de exposición nula.

Las sustancias citotóxicas constituyen un grupo especial de sustancias tóxicas que a pequeñas dosis no producen ningún tipo de alteración permanente en el organismo, pero al cabo de cierto tiempo aparece la enfermedad; así pues, se puede considerar, por ejemplo, que el cancerígeno provoca una alteración permanente en un cierto número de células de un tejido determinado y, después de haberse sufrido la alteración de un número suficiente de sistemas celulares, se desencadena el proceso canceroso. Teniendo en cuenta este mecanismo carcinogénico, el problema que se plantea es si realmente existen VLA para los cancerígenos, es decir, si se pueden aceptar unas exposiciones (o sus absorciones equivalentes) periódicas sin que haya riesgo. Desde nuestro punto de vista, no son admisibles tales exposiciones, debiéndose por lo tanto reforzar cuantas medidas sean necesarias para evitar cualquier tipo de contacto con tales sustancias. Debido a la importancia del problema en cuestión se exponen a continuación las medidas de prevención a tener en cuenta.

Criterios preventivos básicos

La prevención de posibles riesgos originados por la exposición a contaminantes químicos citotóxicos se basa en la actuación según un esquema clásico de actuación, sobre el foco de contaminación, sobre el medio y sobre el receptor (individuos expuestos.)

En exposiciones a agentes citotóxicos, son las actuaciones sobre el foco las que adquieren mayor relevancia con el objeto de intentar conseguir la exposición nula a la sustancia.

Aplicando estas medidas a los laboratorios de la Universidad de Granada se destacarían las siguientes actuaciones:

1. Actuaciones sobre el foco:

- Selección de equipos y maquinaria adecuados. En este sentido, todo equipo que se adquiera ha de ser certificado CE. De esta manera nos aseguraremos que el equipo posee las protecciones necesarias desde el punto de vista de la seguridad y los mecanismos pertinentes para que la emanación de agentes químicos esté controlada.

- Los diferentes responsables de los laboratorios, Departamentos y el Vicerrectorado de Infraestructura y Equipamiento ha de informar al Servicio de Prevención de todo equipo de nueva adquisición al objeto de estudiar si con la adquisición se incorporan nuevos riesgos al puesto de trabajo que deberían ser tenidos en cuenta. Tal información es obligatoria se proporcione al trabajador con el objeto de que sean adoptadas tantas medidas como sean oportunas para un adecuado control de la exposición.

- *Sustitución de productos*, cuando las características toxicológicas del agente en cuestión: De especial relevancia en el caso de trabajo con cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos y sensibilizantes), de los ya comentados efectos adversos en el presente capítulo se justifica la búsqueda de alternativas a las sustancias químicas utilizadas que posean estas características de toxicidad.

Claro ejemplo de lo dicho es la posible sustitución del benceno (clasificado como cancerígeno de 1ª categoría en España) por el tolueno. sustancias deben ser utilizadas, evitándose así también la Igualmente, nunca a nivel de prácticas con los alumnos tales tipos de exposición de los profesionales que la manejan.

La mezcla crómica es otro caso especial. Mezcla de ácido sulfúrico (mayoritario) y trióxido de cromo o dicromato potásico, se trata de un preparado tóxico, corrosivo y peligroso para el medio ambiente. Su utilización para destruir la materia orgánica, que es de gran eficacia, debe ser descartada excepto para aquellos casos en que no exista alternativa, empleándolo siempre en la mínima concentración necesaria. Debe tenerse en cuenta que el dicromato potásico está clasificado como compuesto cancerígeno, categoría 2. La clasificación de la mezcla crómica es: Producto tóxico y peligroso para el medio ambiente. Puede causar cáncer por inhalación y alteraciones genéticas hereditarias. Provoca quemaduras graves y puede causar sensibilización en la piel. Es muy tóxico para los organismos acuáticos y puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Es recomendable su sustitución por **permanganato potásico**, por ejemplo, que es una sustancia clasificada como nociva por ingestión y comburente (peligro de fuego con materias combustibles).

- *Modificación del proceso*, cuando técnicamente sea posible, de forma que se eliminen operaciones especialmente contaminantes. De hecho el uso de los disolventes es tan habitual que en ciertas ocasiones se recuperan parcialmente destilando las mezclas utilizadas (generalmente mediante el uso de rotavapores). Estas operaciones generan vapores que van a la atmósfera, de tal manera que modificando el proceso mediante el uso de destiladores sellados, con garantías de que no emitan contaminación al ambiente de laboratorio, evitamos de nuevo concentraciones que sean perjudiciales para la seguridad y salud de los trabajadores.

- *Encerramiento y/o aislamiento de procesos*, cuando son generadores de contaminantes químicos y puede prescindirse de la presencia continuada de personas en sus cercanías.

En tal sentido, operaciones que puedan implicar una potencial exposición a estos agentes, y dadas sus características de especial peligrosidad, han de realizarse en recintos cerrados diseñados para tal fin. Por ejemplo operaciones de pesada de Bromuro de etidio

(comprobado mutagénico en el ser humano), han de realizarse de manera confinada en recintos donde (ya no sólo por influir en la precisión y exactitud de la pesada sino también para impedir la dispersión del agente mutagénico) exista control de las corrientes de aire y de la limpieza estricta de todas las superficies de trabajo.

- *Extracción localizada*, implica la instalación de un sistema de ventilación que elimine el contaminante en el momento de su generación. El trabajo en el interior de vitrinas de laboratorios donde se manejen sustancias químicas es obligatorio. Se deben de revisar el estado de las mismas, y hacer mediciones de velocidad de aire en la cara abierta de la vitrina (para comprobar que los caudales²¹ son los adecuados, y verificar de esta manera la eficacia del sistema).

- *Mantenimiento preventivo* de las instalaciones y equipos de trabajo. El envejecimiento de los equipos habitualmente empleados en los laboratorios (centrífugas, autoclaves, agitadores, calentadores, etc) puede provocar fallos y posibles escapes y/o derrames de sustancias peligrosas y con ello permitir la exposición a agentes químicos. Así, aumenta el riesgo de fugas y deficiencias en los materiales que pueden favorecer la presencia de agentes químicos en el ambiente de trabajo²².

2. Actuación sobre el medio.

Supone casi siempre una serie de medidas correctoras de apoyo, que por sí solas no suelen solucionar los problemas de contaminación, pero que unidas a aquellas aplicadas al foco o receptor, reducen el riesgo. Como ejemplo pueden citarse las siguientes:

- *Limpieza periódica de los locales y puestos de trabajo*, de forma periódica, puesto que la existencia de vertidos o derrames genera nuevos focos de contaminación adicionales y dispersos.

²¹ Una velocidad de aire media en la cara abierta de la vitrina inferior a 0,5 m/s permitiría el escape de sustancias volátiles peligrosas para la salud de los trabajadores. (Ref. Industrial Ventilation, ACGIH. 25 edición, 1998).

²² Tales variables que influyen sin duda en la peligrosidad de un laboratorio serán desarrolladas posteriormente en la metodología propuesta en el presente estudio.

- *Señalización de riesgos*, que advierte de los peligros y las precauciones a adoptar.
- *Ventilación general*, cuya filosofía es diferente de la extracción localizada, ya que lo que intenta es diluir la concentración del contaminante en el ambiente, pero no lo elimina al generarse. Por ello es sólo de utilidad como medida preventiva de complemento, o en aquellos casos de lejanía del operario al foco y sólo cuando los agentes químicos presenten poca toxicidad (no válido para el trabajo con sustancias cancerígenas y/o citotóxicas y/o sensibilizantes). Es más, en estos casos, si el contaminante de este tipo no es captado por la extracción localizada (uso de las vitrinas de gases), la ventilación general podría difundir la concentración de contaminante en todo el laboratorio, con el consiguiente riesgo para todos los trabajadores que lo ocupan.

Cálculo del caudal de extracción.

La dificultad reside en la evaluación del índice de renovaciones a la hora, en este campo es arriesgado dar normas precisas, puesto que hay muchos factores que intervienen y el factor psicológico no es el menor. Sin embargo, se puede dar como una orientación el número de renovaciones a la hora (tabla 2), según la naturaleza del local y que pueden tomarse como datos de partida para el cálculo del caudal de extracción una vez cubicado el local:

Tabla A.4.8. Número de renovaciones de aire por hora*.

TIPO DE LOCAL	RENOVACIONES DE AIRE POR HORA
OFICINAS	DE 6 a 8
LABORATORIOS	DE 6 a 12
LAVANDERÍAS	DE 20 A 30
TALLERES DE PINTURA	DE 30 A 60

* Fuente: Manual de Higiene Industrial. Ed. Mapfre.

Recordemos, que junto a este criterio, está el establecido en el R.D. 486/97 de lugares de trabajo, en donde se establece una renovación mínima de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y de 50 metros cúbicos por hora y trabajador en los casos restantes, a fin de evitar el aire viciado y los olores desagradables.

“El sistema de ventilación empleado y, en particular, las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberá asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo”. Hecho como podremos comprobar en el estudio que se realiza no se constata en la mayor parte de los laboratorios estudiados y que esta tesis trata con mayor profundidad en el apartado analizado del índice de ventilación.²³

3. Actuaciones sobre el receptor

Formación específica en Prevención de riesgos por exposición a contaminantes químicos con características de peligrosidad asociadas a afectos cancerígenos y/o citotóxicos. Normalmente el grado de desconocimiento de esta peligrosidad es importante, y mucho más el desconocimiento generalizado de las pautas a seguir para evitar exposiciones (incluso las accidentales).

Efectivamente, el uso de EPIs (contemplada como medida sobre el receptor), ha de únicamente realizarse como medida complementaria de protección de la seguridad y salud del trabajador, con el objetivo de controlar el riesgos residuales que actuando sobre otras sistemas (foco emisor y medio de transmisión) no han podido ser evitadas.

Desde el punto de vista preventivo, estaría aconsejado el uso de EPIs respiratorios y de protección dérmica cuando las sustancias peligrosas utilizadas sean productos de los descritos hasta ahora (cancerígenos y/o citotóxicos). Este uso está sujeto a las restricciones que el propio estado de salud del trabajador pudiera tener.²⁴

²³ Véase el índice de ventilación como variable asociada a la peligrosidad de la exposición a un agente químico.

²⁴ Véase el protocolo específico de vigilancia de la salud para el uso de EPIs respiratorios.

Correcto uso de la Protección Respiratoria. El que un trabajador posea EPIs respiratorios no indica que el uso que se les dé sea el adecuado. En concreto los protectores respiratorios necesitan de entrenamiento para su uso que asegure una adecuada protección de la salud del trabajador. La realización de la prueba de ajuste (“Fit test”²⁵), a todos los trabajadores que usen protección respiratoria ha de ser obligatoria.²⁶

La elección de los filtros específicos²⁷ es otra actuación encaminada a evitar exposiciones a este tipo de agentes. Mantenimiento mínimo básico (limpieza del EPI) y almacenamiento en lugares adecuados (Limpios, resguardados de las inclemencias del tiempo del equipo de protección respiratoria.)

Transporte de recipientes conteniendo productos químicos

Durante el transporte de productos químicos puede tener lugar la rotura del recipiente, con la consiguiente contaminación, intoxicación y riesgo de explosión. Para el control de estos riesgos se recomienda:

- Transportar los recipientes de vidrio en contenedores especiales. Si se transportan varios productos o mucha cantidad se deben emplear carros para evitar los choques y roturas.
- No utilizar el ascensor destinado a las personas.
- No transportar los recipientes que están bajo vacío.

4. Otras actuaciones posibles

Actuación ante emergencias:

El experimento del laboratorio deberá ser diseñado de manera tal que no se produzca una contaminación permanente del equipo y se tendrá en cuenta que el personal de mantenimiento no resulte innecesariamente expuesto.

²⁵ La casa comercial 3M dispone de un kit para comprobar el adecuado ajuste de máscaras y mascarillas. Básicamente su funcionamiento consiste en comprobar si el usuario del EPI es capaz de detectar un olor no tóxico en el interior de una atmósfera controlada. Para más información: www.3mmm.com

²⁶ Véase pruebas de ajuste de EPIs respiratorios en los manuales de los EPIs respiratorios, ej. Mod. 6000, de la marca 3M, disponible en la página web: www.mmm.es

²⁷ Véase el artículo: “La elección adecuada de los filtros de protección respiratoria” en www.mmm.es

Se deberá disponer antes de comenzar el proceso de los materiales y métodos necesarios para efectuar la limpieza y descontaminación de equipos y materiales, prestando especial atención a evitar la contaminación de los desagües y conductos de ventilación.

El personal del laboratorio deberá conocer la conducta a seguir en caso de emergencias y el emplazamiento de los equipos de seguridad, así como su modo de utilización en caso de accidente. Las instrucciones estarán por escrito en lugar bien visible.

En el caso de un derrame, explosión o incendio en un área donde se manipulen cancerígenos, sólo deberán permanecer en ella aquellas personas que estén adecuadamente equipadas; el resto deberá ser evacuado inmediatamente. El personal que lleve a cabo el experimento deberá evitar que se extienda la contaminación a las zonas no contaminadas, organizar las operaciones de limpieza y descontaminación, valorar la contaminación residual e informar del suceso, al objeto de que no se inicie el trabajo hasta que no se restablezcan las condiciones iniciales y se tomen las medidas necesarias para evitar su repetición.

Si una persona resulta contaminada por una salpicadura o proyección de material cancerígeno:

- Se lavará inmediatamente en el caso de que no exista un método específico, con agua templada y un detergente líquido, frotando con un cepillo enérgicamente pero sin erosionar la piel o zona afectada. Los ojos se lavarán con abundante agua.
- Se secará con toallas de celulosa desechables.

Estudios específicos sobre la eficacia de los sistemas generales de ventilación y sistemas de extracción localizada en los departamentos de Química, Física, Biología, etc.

Un indicador básico de dicha eficacia son las mediciones ambientales de las concentraciones de los diferentes contaminantes en el laboratorio.

En las mediciones que hemos podido realizar²⁸ **se han detectado** concentraciones, en algunos casos, intolerables, de contaminantes cancerígenos y/o citotóxicos.

El grado de conformidad con las normas establecidas en este apartado, tratado de manera específica, constituye en sí, la esencia de nuestra hipótesis, en donde acorde con el grado de cumplimiento de los sistemas de control aquí aconsejados va a ser (como podremos comprobar en nuestra hipótesis de partida) un factor esencial relacionado directamente con la peligrosidad de la exposición a una sustancia química peligrosa.

²⁸ Mediciones de las concentraciones ambientales en los laboratorios realizadas para la presente tesis y cuyos resultados pueden ser consultados en el capítulo de contraste de la validez del IPMAQ.

A1.5. OTROS AGENTES QUÍMICOS DE USO COMÚN EN LABORATORIOS

A1.5.1. INTRODUCCIÓN.

Hasta ahora hemos expuesto las características de los productos químicos, que debido a su alta peligrosidad, pueden incidir de una manera más negativa sobre la salud de los trabajadores de los laboratorios.

En el capítulo 1.4 pudimos ver su clasificación y exponer algunas de las características de las mismas (combustibles, inflamables, etc.). No obstante no podemos obviar otras tantas sustancias químicas que se manejan a diario y que son también peligrosas. Nos referimos en este apartado por su alto grado de impacto sobre la salud de los trabajadores especialmente a las sustancias tóxicas. Se hace imprescindible pues comentar los aspectos más relevantes sobre la peligrosidad de las mismas.

A1.5.2. PRODUCTOS QUÍMICOS COMUNES EN LABORATORIOS²⁹.

La gran variedad de sustancias manejadas en un laboratorio hace indispensable, para poder abordar su estudio con precisión, clasificarlas acorde con su composición. Es por ello que en nuestro estudio nos adentramos a continuación en describir las características de peligrosidad, riesgos y posibles daños a la salud, junto con los usos más habituales las sustancias que a diario se manejan en laboratorios.

FLUOROCARBUROS

Los fluorocarburos se derivan de los hidrocarburos mediante sustitución por flúor de todos o algunos de sus átomos de hidrógeno.

Los hidrocarburos en los que se ha reemplazado alguno de los átomos de hidrógeno por cloro o bromo, además de los que fueron por flúor (es decir, clorofluorhidrocarburos, bromofluorhidrocarburos) suelen incluirse en la clasificación de fluorocarburos; por ejemplo, el

²⁹ Fuente principal: Enciclopedia editada por la OIT sobre Salud y Seguridad en el trabajo. Ed. Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales. Madrid.1998. Se ha adaptado la información extraída y adaptado comentándola y aplicándola a laboratorios.

bromoclorodifluorometano (CClBrF₂). El primer fluorocarburo económicamente importante fue el diclorodifluorometano (CCl₂F₂), que se comenzó a utilizar en 1931 como un refrigerante mucho menos tóxico que el dióxido de azufre, el amoníaco o el clorometano, que eran los refrigerantes utilizados en aquella época.

Riesgos

Los fluorocarburos son, en general, menos tóxicos que los correspondientes hidrocarburos clorados o bromados. Esta menor toxicidad puede deberse a una mayor estabilidad del enlace C-F y, tal vez también, a la menor solubilidad lipóide de las sustancias más fluoradas. Gracias a su bajo nivel de toxicidad, ha sido posible seleccionar fluorocarburos que sean seguros para los usos a los que se destinan. No obstante, la supuesta seguridad de los fluorocarburos en estas aplicaciones ha hecho que se divulgara la falsa creencia de que los fluorocarburos son completamente inocuos en cualquier condición de exposición.

En realidad, los fluorocarburos volátiles poseen propiedades narcóticas similares a las de los hidrocarburos clorados, aunque más débiles. La inhalación aguda de 2.500 ppm de *triclorotrifluoretano* provoca intoxicación y descoordinación psicomotriz en el ser humano, un efecto que también se observa con concentraciones de 10.000 ppm (1 %) de *diclorodifluorometano*. La inhalación de *diclorodifluorometano* a concentraciones de 150.000 ppm (15 %) provoca pérdida de la consciencia. Se han registrado más de 100 muertes relacionadas con la inhalación de fluorocarburos como consecuencia de la pulverización de aerosoles que contenían *diclorodifluorometano* como propulsor en el interior de una bolsa de papel y su posterior inhalación. El TLV de 1.000 ppm establecido por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) no produce efectos narcóticos en el ser humano.

Los fluorometanos y fluoretanos tampoco producen efectos tóxicos, como lesiones hepáticas o renales, por exposición repetida. Los fluoralquenos, como el *tetrafluoretileno*, el *hexafluoropropileno* o el *cloro-trifluoretileno*, pueden causar lesiones hepáticas y renales en animales de experimentación tras exposiciones prolongadas y repetidas a las concentraciones apropiadas.

No obstante, la toxicidad aguda de los fluorocarbonos es sorprendente en algunos casos. El *perfluorobutano* es un buen ejemplo de ello. Con una CL50 de 0,76 ppm para cuatro horas de exposición en el caso de las ratas, es más tóxico que el fosgeno. Al igual que este último producto, produce edema pulmonar agudo.

Por su parte, el fluoruro de vinilo y el fluoruro de vinilideno son fluorocarbonos de muy baja toxicidad.

De la misma forma que muchos otros vapores de disolventes y anestésicos utilizados en cirugía, los fluorocarbonos volátiles también pueden producir arritmia o parada cardíaca cuando el organismo libera una cantidad anormalmente elevada de adrenalina (como en situaciones de angustia, miedo, excitación o ejercicio violento). Las concentraciones necesarias para producir este efecto son muy superiores a las que se encuentran normalmente en la industria.

En perros y monos, tanto el *clorodifluorometano* como el *diclorodifluorometano* provocan rápidamente depresión respiratoria, broncoconstricción, taquicardia, depresión miocárdica e hipotensión a concentraciones de entre un 5 y un 10 %. El *clorodifluorometano*, al contrario que el *diclorodifluorometano*, no provoca arritmias cardíacas en monos (aunque sí en ratones) y tampoco reduce la función pulmonar.

Medidas de salud y seguridad.

Todos los fluorocarbonos sufren descomposición térmica cuando se exponen a la acción de la llama o de metales calentados al rojo. Los productos de la descomposición de los clorofluorocarbonos son los ácidos fluorhídrico y clorhídrico, junto con cantidades más pequeñas de fosgeno y fluoruro de carbonilo. Este último compuesto es muy inestable a la hidrólisis y rápidamente se transforma en ácido fluorhídrico y dióxido de carbono en presencia de humedad.

Los estudios de mutagenicidad y teratogenicidad realizados de los tres fluorocarbonos más importantes desde el punto de vista industrial (*triclorofluorometano*, *diclorodifluorometano* y *triclorotrifluoretano*), han dado resultados negativos.

El *clorodifluorometano*, que en un tiempo se consideró como posible propulsor para aerosoles, resultó ser mutágeno en los estudios de mutagénesis bacteriana. Los estudios de exposición a lo largo de toda la vida aportaron ciertas evidencias de carcinogénesis en ratas macho expuestas a concentraciones de 50.000 ppm (5 %), pero no a concentraciones de 10.000 ppm (1 %). Este efecto no se apreció en ratas hembra ni en otras especies. La Agencia Internacional para la investigación sobre el Cáncer (IARC) ha clasificado esta sustancia en el Grupo 3 (evidencias limitadas de carcinogénesis en animales). También se obtuvieron ciertas pruebas de teratogenicidad en ratas expuestas a 50.000 ppm (5 %), pero no a 10.000 ppm (1 %), ni en conejos expuestos a concentraciones de hasta 50.000 ppm.

Las víctimas de la exposición a fluorocarburos deben ser evacuadas del área contaminada y recibir un tratamiento sintomático. No se les administrará adrenalina, pues existe la posibilidad de provocar arritmias o parada cardíaca.

ETERES GLICOLICOS

Usos

Los éteres glicólicos se utilizan mucho como disolventes gracias a su solubilidad tanto en agua como en líquidos orgánicos. Sus principales usos son las tintas y colorantes, los esmaltes, las pinturas y como agentes limpiadores para la limpieza en seco y la limpieza de cristales. Estos compuestos se emplean también como disolventes y limpiadores en la fabricación de semiconductores.

Los éteres de etilenglicol se emplean como disolventes de resinas, lacas, pinturas, barnices, tintas y colorantes, y como componentes de pastas de pintura, productos de limpieza, jabones líquidos, cosméticos y líquidos hidráulicos. Los éteres de propilenglicol y butilenglicol sirven como agentes dispersores y como disolventes de lacas, pinturas, resinas, colorantes, aceites y grasas.

El *éter monoetílico de etilenglicol* se utiliza como disolvente en las industrias de lacado, imprenta, metalurgia y química. También se emplea para la tinción y el estampado de tejidos, como agente de acabado del cuero, como anticongelante en los combustibles de los aviones y como componente de decapantes de pinturas y soluciones limpiadoras. El *éter monometílico de dietilenglicol* y el *acetato del éter monobutílico de etilenglicol* se utilizan en la industria como disolventes de alto punto de ebullición. El *éter monometílico de dietilenglicol* se utiliza en tintes para la madera que no resaltan las vetas, en lacas de olores suaves para su aplicación con pincel, en tintas para tampones y en el acabado del cuero. En la industria de las pinturas, se utiliza como agente coalescente para pintura de látex. En la industria textil se utiliza para el estampado de tejidos, como ingrediente de jabones textiles y pastas colorantes, y para fijar la torsión y condicionar hilos y telas.

El *éter monometílico de dietilenglicol*, el *éter monoetílico de dietilenglicol* y el *éter mono-n-butílico de dietilenglicol* son disolventes que sirven como diluyentes de líquidos hidráulicos para frenos. El *2-fenoxietanol* se utiliza como fijador en perfumes, cosméticos y jabones, como soporte de colorantes para tejidos y como disolvente en productos de limpieza, tintas, germicidas y productos farmacéuticos. El *2-metoxietanol* también es un fijador de perfumes. Se utiliza en la fabricación de películas fotográficas, como anticongelante en combustibles para reactores, como disolvente de las resinas utilizadas en la industria electrónica y para la tinción del cuero. El *2-metoxietanol* y el *éter metílico de propilenglicol* son útiles para el sellado de celofán con disolventes. El *éter mono-n-butílico de etilenglicol* es un disolvente para revestimientos protectores y limpiametales.

Se utiliza en la industria textil para evitar manchas durante el estampado o la tinción.

Riesgos

En términos generales, los efectos agudos de los éteres glicólicos se limitan al sistema nervioso central y son parecidos a la toxicidad aguda de los disolventes. Estos efectos consisten en mareo, cefalea, confusión, fatiga, desorientación, habla tibuteante y, si son suficientemente intensos, depresión respiratoria y pérdida de consciencia. La exposición durante largos períodos de tiempo produce irritación de la piel, anemia, supresión de la médula ósea, encefalopatía y

toxicidad reproductiva. El 2-metoxietanol y el 2-etoxietanol (y sus acetatos) son tóxicos en grado sumo.

Debido a su volatilidad relativamente baja, la exposición suele producirse por contacto de la piel con los líquidos o por inhalación de los vapores en espacios cerrados.

La mayoría de los éteres del etilenglicol son más volátiles que sus compuestos precursores y, en consecuencia, resulta menos fácil controlar la exposición a sus vapores. Todos ellos son más tóxicos que el etilenglicol y producen un cuadro sintomatológico parecido.

Medidas de salud y seguridad

Las medidas recomendadas para controlar y limitar la exposición a los éteres glicólicos son básicamente las mismas que las adoptadas para controlar la exposición a disolventes, ya comentadas en otros capítulos de nuestro estudio.

La sustitución de un material por otro menos tóxico, en caso de ser posible, es siempre un buen punto de partida. Es importante disponer de sistemas eficaces de ventilación para reducir la concentración del material en la zona de respiración. Siempre que exista peligro de explosión o incendio, deberán evitarse las chispas o llamas desnudas y los materiales se almacenarán en recipientes “a prueba de explosiones”. Aunque es importante utilizar equipos de protección personal, como respiradores, guantes y prendas protectoras, no conviene depender exclusivamente de ellos.

Siempre que exista riesgo de exposición a salpicaduras, se utilizarán gafas protectoras. Los trabajadores que manipulan éter monometílico de etilenglicol deben utilizar gafas de seguridad química y trabajar en áreas con una ventilación adecuada.

También se recomienda el uso de protección ocular ante cualquier posibilidad de contacto de los ojos con el éter monobutílico de etilenglicol. Debe evitarse la inhalación de los vapores y el contacto cutáneo, esto último sobre todo cuando se trabaja con 2-metoxietanol y 2-etoxietanol.

GLICEROLES Y GLICOLES

Usos

Muchas de las aplicaciones industriales de los glicoles y los gliceroles se basan en su propiedad de ser disolventes orgánicos completamente hidrosolubles. Estos compuestos se utilizan como disolventes de colorantes, pinturas, resinas, tintas, insecticidas y productos farmacéuticos. Además, los dos grupos hidroxilo químicamente reactivos hacen de los glicoles intermediarios químicos importantes. Entre los muchos usos de los glicoles y poliglicoles, los más importantes son la disminución del punto de congelación, la lubricación y la solubilización. Los glicoles se emplean también como aditivos alimentarios directos o indirectos y como ingredientes en la preparación de explosivos y resinas alquídicas, humos teatrales y cosméticos.

El *propilenglicol* se utiliza mucho en productos farmacéuticos, en cosméticos, como humectante de ciertos alimentos y como lubricante. También se emplea como líquido de termotransferencia cuando existe el riesgo de que una fuga pueda entrar en contacto con alimentos; por ejemplo, refrigerantes para equipos de refrigeración de productos lácteos. También se utiliza como disolvente de colorantes y aromas alimentarios, como anticongelante en fábricas cerveceras y establecimientos y como aditivo para mejorar la estabilidad de las pinturas de látex frente a la congelación- descongelación. El *propilenglicol*, el *etilenglicol* y el *1,3-butanodiol* son componentes de líquidos descongelantes utilizados en aeronáutica. El *tripropilenglicol* y el *2,3-butanodiol* son disolventes de colorantes. Los butanodiolos (*butilenglicoles*) se utilizan en la producción de resinas de poliéster.

El *etilenglicol* se emplea como anticongelante en sistemas de refrigeración y calefacción, como disolvente en las industrias de pinturas y plásticos y como ingrediente de los líquidos descongelantes utilizados en las pistas de los aeropuertos. Se utiliza en líquidos hidráulicos para frenos, en la dinamita de bajo punto de congelación, en tintes para madera, en adhesivos, en tintes para el cuero y en el tabaco. También sirve como deshidratante del gas natural, como disolvente de tintas y pesticidas y como ingrediente de condensadores electrolíticos. El *dietilenglicol* es un humectante para el tabaco, la caseína, las esponjas sintéticas y los productos de papel. También se encuentra en compuestos de corcho, adhesivos de encuadernación,

líquidos de freno, lacas de barnizado, cosméticos y soluciones anticongelantes para sistemas de aspersión. El dietilenglicol se utiliza en las juntas hidráulicas de los depósitos de gas, para la lubricación y el acabado de tejidos, como disolvente de colorantes de tina y como agente deshidratante del gas natural. El *trietilenglicol* es un disolvente y lubricante para el teñido y la estampación de tejidos. También se utiliza para la desinfección del aire y para mejorar la flexibilidad de algunos plásticos. El trietilenglicol sirve como humectante en la industria del tabaco y es un producto químico intermedio en la fabricación de plastificantes, resinas, emulsionantes, lubricantes y explosivos.

La versatilidad del *glicerol* se refleja en los casi 1.700 usos de este compuesto y sus derivados. El glicerol se utiliza en alimentos, productos farmacéuticos, artículos de perfumería y cosméticos.

La naturaleza higroscópica de esta sustancia hace que sea ideal para su uso como humectante en muchos productos, como, por ejemplo, el tabaco, el hielo, las cremas dérmicas y las pastas de dientes, productos todos ellos que, de otra forma, podrían deteriorarse durante su almacenamiento a causa de la desecación.

Además, el glicerol es un lubricante que se añade a los chicles para facilitar su procesado, un plastificante del coco defibrado húmedo y un aditivo para mantener la humedad y suavidad de los productos farmacéuticos. Se emplea para evitar la formación de escarcha en los parabrisas y como anticongelante para automóviles, gasómetros y gatos hidráulicos. No obstante, el principal uso del glicerol es en la producción de resinas alquídicas para revestimientos superficiales. Estos se preparan condensando glicerol con un ácido dicarboxílico o anhídrido (normalmente anhídrido ftálico) y ácidos grasos. Otra aplicación importante del glicerol es la producción de explosivos, entre ellos la nitroglicerina y la dinamita.

Glicerol

El glicerol es un alcohol trihídrico y experimenta todas las reacciones características de los alcoholes. Los grupos hidroxilo poseen diversos grados de reactividad, siendo más reactivos los que ocupan las posiciones 1 y 3 que los de la posición 2. Aprovechando estas diferencias de reactividad y variando la proporción de los reactivos, se pueden obtener mono-, di- o tri-derivados. El glicerol se obtiene mediante hidrólisis de grasas o sintéticamente a partir del propileno. Los principales componentes de casi todos los aceites y grasas animales y vegetales son triglicéridos de ácidos grasos.

La hidrólisis de esos glicéridos produce ácidos grasos libres y glicerol. Se emplean dos técnicas: la hidrólisis alcalina (saponificación) y la hidrólisis neutra (fraccionamiento). En la saponificación, la grasa se hierve con hidróxido sódico y cloruro sódico, dando lugar a la formación de glicerol y sales sódicas de los ácidos grasos (jabones). En la hidrólisis neutra, las grasas se hidrolizan en un horno o un autoclave a alta presión en un proceso semicontinuo o por lotes, o también en una torre a alta presión mediante una técnica de contracorriente continua. Existen dos procesos principales para la síntesis de glicerol a partir de propileno. En el primero, se trata el propileno con cloro para obtener cloruro de alilo, el cual reacciona con una solución de hipoclorito sódico para dar glicerol- diclorohidrina, a partir de la cual se obtiene el glicerol por hidrólisis alcalina. El segundo proceso consiste en oxidar el propileno para formar acroleína, la cual se reduce a alcohol alílico.

Este compuesto puede hidroxilarse con peróxido de hidrógeno en solución acuosa para obtener glicerol directamente, o tratarse con hipoclorito sódico para obtener glicerol-monoclorohidrina que más tarde, mediante hidrólisis alcalina, se convierte en glicerol.

Riesgos

El glicerol es muy poco tóxico (en el ratón, la DL50 por vía oral es de 31,5 g/kg) y en general se le considera inofensivo en las condiciones normales de uso. La glicerina produce una leve diuresis en individuos sanos que reciben una única dosis oral igual o inferior a 1,5 g/kg. Los efectos nocivos que produce la administración oral de glicerina consisten en un ligero dolor de

cabeza, mareo, náuseas, vómitos, sed y diarrea. Cuando el glicerol se presenta en forma de niebla, la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) lo ha clasificado como “partícula molesta”, asignándole un TLV de 10 mg/m³. (En España su VLA es igualmente de 10 mg/m³). Además, la reactividad del glicerol le hace peligroso y propenso a explotar en contacto con oxidantes fuertes como el permanganato potásico, el clorato potásico, etc. Por ello, nunca debe almacenarse cerca de ese tipo de sustancias.

HALOGENOS Y SUS COMPUESTOS

El flúor, el cloro, el bromo, el yodo y el elemento radiactivo, el astato, constituyen la familia de elementos denominados halógenos.

Excepto el astato, las propiedades físicas y químicas de estos elementos han sido objeto exhaustivo de estudio. Ocupan el grupo VII en la tabla periódica y presentan una gradación casi perfecta de propiedades físicas.

La familia de los halógenos se relaciona también por la similitud de las propiedades químicas de los elementos, una similitud que está asociada con la disposición de siete electrones en la órbita externa de la estructura atómica de cada uno de los elementos del grupo. Todos los miembros forman compuestos con el hidrógeno y la facilidad con que se realiza esta unión decrece a medida que aumenta el peso atómico del halógeno. De igual manera, la facilidad de formación de diferentes sales decrece a medida que aumenta el peso atómico del halógeno. Las propiedades de los ácidos halogenados y sus sales muestran una estrecha relación; la similitud es evidente en los compuestos orgánicos halogenados, si bien al aumentar la complejidad química, las características y las influencias de otros componentes de la molécula pueden enmascarar o modificar el grado de las propiedades.

Usos

Los halógenos se utilizan en las industrias química, de tratamiento de aguas, de plásticos, farmacéutica, papelera, textil, militar y petrolífera.

El *bromo*, el *cloro*, el *flúor* y el *yodo* son productos químicos intermedios, agentes blanqueadores y desinfectantes.

El bromo y el cloro se utilizan en la industria textil para blanquear y tratar la lana para que no encoja. El bromo también se emplea en los procesos de extracción minera de oro y en la perforación de pozos de petróleo y de gas. Es un retardador de la llama en la industria del plástico y un intermedio en la fabricación de fluidos hidráulicos, agentes refrigerantes y deshumidificantes y preparados para moldear el cabello. El bromo es también un componente de gases militares y fluidos para la extinción de incendios.

El cloro se utiliza como desinfectante de detritus y para la depuración y el tratamiento de agua para beber y piscinas. Es un agente blanqueador empleado en lavanderías y en la industria papelera. El cloro se emplea en la fabricación de pilas especiales e hidrocarburos clorados y en el procesamiento de carnes, verduras, pescados y frutas. Además, actúa como retardador de llama. El *dióxido de cloro* se utiliza en el tratamiento de aguas potables y de piscinas para depurar y controlar el sabor y el olor de las mismas. Se emplea como agente blanqueador en las industrias alimentaria, del cuero, textil y papelera, como oxidante, como bactericida y como antiséptico. Se utiliza también para limpiar y destanificar el cuero y para blanquear celulosa, aceites y cera de abeja. El *tricloruro de nitrógeno* se utilizaba antiguamente como blanqueador y “mejorador” de la harina. El *yodo* también es un desinfectante para el tratamiento de las aguas y actúa como producto químico intermedio en la síntesis de yoduros inorgánicos, yoduro potásico y compuestos orgánicos de yodo.

El *flúor*, el *monóxido de flúor*, el *pentafluoruro de bromo* y el *trifluoruro de cloro* sirven como oxidantes en los combustibles para cohetes.

El *flúor* también se emplea para transformar tetrafluoruro de uranio en hexafluoruro de uranio, y el *trifluoruro de cloro* se utiliza en la fabricación de combustibles para reactores nucleares y en los pozos petrolíferos.

El *fluoruro cálcico*, cuya forma mineral es la *fluorita* o *espatoflúor*, es la principal fuente de obtención de flúor y sus compuestos. Se utiliza en la industria metalúrgica como fundente. También se emplea en las industrias óptica, del vidrio y de la electrónica.

El *bromuro de hidrógeno* y sus soluciones acuosas sirven para obtener bromuros orgánicos e inorgánicos y como agentes reductores y catalizadores. También se emplean en la alquilación de compuestos aromáticos. El *bromuro potásico* se utiliza para fabricar placas y papeles fotográficos. El gas fosgeno es necesario en grandes cantidades para numerosas síntesis industriales, como en la fabricación de colorantes. También se emplea en la fabricación de gases militares y productos farmacéuticos. Además, se encuentra en insecticidas y fumigantes.

Riesgos

La similitud que presentan estos elementos con respecto a sus propiedades químicas se evidencia en sus efectos fisiológicos. Los gases (flúor y cloro) y los vapores de bromo y yodo son irritantes del aparato respiratorio. La inhalación de concentraciones relativamente bajas de estos gases y vapores produce una sensación desagradable y picante que va seguida por sensación de ahogo, tos y sensación de opresión torácica. Las lesiones del tejido pulmonar asociadas a estos productos pueden determinar la aparición de un edema pulmonar, que puede ser mortal.

COMPUESTOS HETEROCICLICOS

Los compuestos heterocíclicos se utilizan como productos químicos intermedios y disolventes en industrias farmacéuticas, químicas, textiles, petrolíferas, fotográficas y de tintes. Algunos de ellos sirven además como aceleradores de la vulcanización del caucho.

La *acridina* y la *benzantrona* se emplean como materias primas y productos químicos intermedios en la fabricación de tintes.

La *benzantrona* se utiliza también en la industria pirotécnica. La *propilenimina* se emplea en floclulantes para el refinado de petróleo y como modificador para combustibles propelentes de cohetes.

Asimismo, sirve como aditivo de lubricantes para modificar el control de la viscosidad y mejorar su rendimiento a alta presión y su resistencia a la oxidación. La *3-metilpiridina* y la *4-metilpiridina* se emplean como agentes impermeabilizantes en la industria textil.

La 4-metilpiridina es un disolvente utilizado en la síntesis de productos farmacéuticos, resinas, tintes, aceleradores del caucho, pesticidas y agentes impermeabilizantes. La *2-pirrolidona* también se utiliza en preparados farmacéuticos y actúa como disolvente de alto punto de ebullición en la transformación del petróleo. Se encuentra en tintas de imprenta especializadas y en algunos abrillantadores.

La *4,4'-ditioldimorfina* se utiliza en la industria del caucho como protector antimanchas y como agente vulcanizante.

En la industria del caucho, la *2-vinilpiridina* se convierte en un terpolímero que se utiliza en adhesivos para encolar hilos para neumáticos al caucho.

Algunos compuestos heterocíclicos, como la *morfina*, el *mercaptobenzotiazol*, la *piperazina*, el *1,2,3-benzotriazol* y la *quinoleína*, actúan como inhibidores de la corrosión en el tratamiento de aguas industriales y del cobre. El mercaptobenzotiazol es también un inhibidor de la corrosión para aceites de corte y productos derivados del petróleo y un aditivo de presión extrema en lubricantes.

La morfina es un disolvente para resinas, ceras, caseína y tintes y un agente desespumante en las industrias del papel y los cartonajes.

Además, se encuentra en insecticidas, fungicidas, herbicidas, anestésicos locales y antisépticos. El 1,2,3-benzotriazol es un agente retardador, revelador y antivelo para emulsiones fotográficas, un componente de líquidos descongelantes para aviones militares y un agente estabilizante en la industria del plástico.

La *piridina* se utiliza en numerosas industrias como producto químico intermedio y como disolvente. Se emplea para elaborar vitaminas, fármacos, desinfectantes, tintes y explosivos y como auxiliar de la tinción en la industria textil. La piridina también es útil en las industrias del caucho y la pintura, en la perforación de pozos de gas y petróleo y en las industrias alimentaria y de bebidas no alcohólicas como agente aromatizante. Las *vinilpiridinas* se emplean en la producción de polímeros.

El *sulfolano*, un disolvente y plastificante, se utiliza para extraer hidrocarburos aromáticos de las corrientes de las refinerías de petróleo, para el acabado de textiles y como componente de líquidos hidráulicos.

El *tetrahidrotiofeno* es un disolvente y odorante de gases combustibles que se utiliza en sistemas de detección de fugas para la prevención de incendios en minas subterráneas. La *piperidina* se utiliza en la fabricación de productos farmacéuticos, agentes humectantes y germicidas. Es un endurecedor de resinas epoxi y un componente traza del gasóleo.

Riesgos

La *acridina* es un potente irritante que, en contacto con la piel o las mucosas, provoca picores, quemaduras, estornudos, lagrimeo e irritación de la conjuntiva. Los trabajadores expuestos al polvo de cristales de acridina en concentraciones de entre 0,02 y 0,6 mg/m³ se quejaron de dolores de cabeza, alteraciones del sueño, irritabilidad y fotosensibilización y presentaron edema de los párpados, conjuntivitis, erupciones cutáneas, leucocitosis y aumento de la sedimentación de los hematíes. Estos síntomas no aparecieron con una concentración de acridina en suspensión en el aire de 1,01 mg/m³. Al calentarse, la acridina emite vapores tóxicos. La acridina y muchos de sus derivados han demostrado poseer propiedades mutágenas e inhibir la reparación del ADN y el crecimiento de las células en algunas especies. En animales, las dosis cuasiletales de *minopiridinas* producen un aumento de la excitabilidad a los ruidos y al tacto y provocan temblores, convulsiones clónicas y tetania, así como contracción de la musculatura esquelética y lisa, con vasoconstricción y aumento de la tensión arterial. Se ha observado que las aminopiridinas y algunas alquilpiridinas ejercen un efecto inotrópico y cronotrópico en el corazón.

Las vinilpiridinas provocan convulsiones menos intensas. La intoxicación aguda puede deberse a la inhalación de polvo o vapor a concentraciones relativamente bajas o a la absorción cutánea.

Un riesgo común de la *benzantrona* es la sensibilización cutánea por exposición al polvo de benzantrona. La sensibilidad varía de una persona a otra, pero tras una exposición que puede

durar entre algunos meses y varios años, las personas sensibles, especialmente las que son rubias o pelirrojas, desarrollan un eczema que puede ser intenso y cuya fase aguda puede dejar una pigmentación de color avellana o gris pizarra, especialmente alrededor de los ojos. Al microscopio se observa atrofia de la piel. Los problemas cutáneos producidos por la benzantrona son más frecuentes en la estación cálida y se agravan significativamente con el calor y la luz.

La *morfolina* es un compuesto moderadamente tóxico por vía digestiva y cutánea; la morfolina no diluida es un potente irritante de la piel y de los ojos, aunque no parece tener efectos tóxicos crónicos. Comporta un riesgo moderado de incendio cuando se expone al calor y en su descomposición térmica libera vapores que contienen óxidos de nitrógeno.

La *fenotiazina* exhibe propiedades irritantes nocivas y la exposición industrial puede provocar fotosensibilización y lesiones cutáneas, entre ellas queratitis fotosensible. Por lo que se refiere a sus efectos sistémicos, se han descrito casos de intoxicación grave en aplicaciones terapéuticas, caracterizados por anemia hemolítica y hepatitis tóxica. La baja solubilidad de este compuesto determina que la velocidad de absorción en el tracto gastrointestinal dependa del tamaño de las partículas. La forma micronizada del fármaco se absorbe rápidamente. La toxicidad de esta sustancia varía mucho de un animal a otro, siendo la DL50 por vía oral en ratas de 5 g/kg.

Aunque la fenotiazina se oxida con bastante facilidad cuando se expone al aire, el riesgo de incendio no es elevado. Aún así, cuando se ve involucrada en un incendio, desprende óxidos de azufre y nitrógeno altamente tóxicos, que son peligrosos irritantes pulmonares.

La *piperidina* puede absorberse por vía respiratoria, digestiva o cutánea, produciendo en los animales una respuesta tóxica similar a la de las aminopiridinas. En dosis altas bloquea la conducción ganglionar. En pequeñas dosis provoca estimulación simpática y parasimpática por su efecto en los ganglios. Los síntomas de intoxicación consisten en un aumento de la tensión arterial y del ritmo cardíaco, náuseas, vómitos, salivación, dificultad respiratoria, debilidad muscular, parálisis y convulsiones.

Esta sustancia es altamente inflamable y desprende concentraciones explosivas de vapor a temperatura ambiente normal. Con ella deben adoptarse las mismas precauciones recomendadas para la piridina.

Piridina y sus homólogos. Los estudios clínicos de exposición humana han facilitado cierta información sobre la piridina, principalmente relacionada con tratamientos médicos o exposición a sus vapores. La piridina se absorbe por vía digestiva, cutánea o respiratoria. Los síntomas clínicos de intoxicación consisten en alteraciones gastrointestinales, con diarrea, dolor abdominal y náuseas, debilidad, cefalea, insomnio y nerviosismo. La exposición a concentraciones inferiores a las necesarias para producir signos clínicos evidentes puede causar lesiones hepáticas de grado variable, con degeneración grave del lóbulo central, congestión e infiltración celular. Las exposiciones repetidas a concentraciones bajas de piridina provocan cirrosis. El riñón parece ser menos sensible que el hígado a los daños inducidos por esta sustancia.

En general, las piridinas y sus derivados producen irritación local cuando contactan con la piel, las mucosas y la córnea. Las lesiones hepáticas pueden producirse por exposición a concentraciones demasiado pequeñas como para provocar una respuesta del sistema nervioso, de manera que no siempre los trabajadores expuestos pueden advertir la presencia de esta sustancia. Además, aunque el olor de la piridina se detecta fácilmente a concentraciones de vapor inferiores a 1 ppm, no se puede confiar en el sentido del olfato porque rápidamente se adormece.

La piridina en estado líquido y gaseoso comporta un grave riesgo de incendio y explosión cuando se expone a las llamas; también puede reaccionar violentamente con sustancias oxidantes. Si se calienta hasta su descomposición, desprende vapores de cianuro.

El pirrol y la pirrolidina. El pirrol es un líquido inflamable que, al arder, libera óxidos de nitrógeno peligrosos. Este producto ejerce una acción depresora sobre el sistema nervioso central y, en caso de intoxicación grave, provoca lesiones hepáticas. Aunque se dispone de poca información sobre el grado de riesgo laboral de esta sustancia, siempre deben adoptarse medidas de protección y prevención contra incendios y se dispondrá de los medios adecuados para su extinción. Las personas que participen en la extinción de un incendio relacionado con el pirrol deberán utilizar equipos de protección respiratoria.

Existe también poca información sobre la exposición humana a pirrolidina. Su administración prolongada en ratas produjo disminución de la diuresis, inhibición de la espermatogénesis,

disminución de la hemoglobinemias y excitación nerviosa. Como ocurre con muchos compuestos nitrogenados, la acidez del estómago puede hacer que la pirrolidina se transforme en N-nitrosopirrolidina, un compuesto que ha demostrado ser cancerígeno para los animales de laboratorio. Algunos trabajadores expuestos a esta sustancia han sufrido cefalea y vómitos.

El líquido puede desprender concentraciones inflamables de vapor a temperaturas de trabajo normales y, en consecuencia, en aquellas zonas donde se utilice deberán eliminarse todas las llamas desnudas y demás agentes que puedan inflamar los vapores. Al arder, la pirrolidina desprende óxidos de nitrógeno peligrosos, y las personas expuestas a estos productos de combustión deben utilizar equipos adecuados de protección respiratoria.

Para prevenir la diseminación del líquido en caso de accidente, habrá que construir muros y brocales alrededor de los tanques de almacenaje y de los vasos de reacción.

La *quinoleína* se absorbe a través de la piel (vía percutánea). Los síntomas clínicos de toxicidad son letargo, dificultad respiratoria y postración que puede llevar al coma. Esta sustancia es irritante para la piel y puede causar lesiones graves e irreversibles en la córnea. Es cancerígena para algunas especies animales, pero no se disponen de datos suficientes sobre el riesgo de cáncer en el ser humano. Aunque es moderadamente inflamable, no desprende concentraciones inflamables de vapores a temperaturas por debajo de 99 °C.

Vinilpiridina. Una breve exposición a los vapores de esta sustancia provoca irritación de ojos, nariz y garganta, cefalea, náuseas, nerviosismo y anorexia, con carácter transitorio. El contacto con la piel provoca un dolor ardiente seguido de quemaduras cutáneas graves. Puede aparecer sensibilización. El riesgo de incendio es moderado y la descomposición por calor va acompañada de la liberación de vapores peligrosos de cianuro.

Medidas de seguridad y salud

Deben adoptarse las precauciones de seguridad normales para la manipulación de los polvos y vapores de los productos químicos de este grupo. Puesto que algunos de ellos provocan sensibilización cutánea, es muy importante que existan unas instalaciones sanitarias y de lavado

adecuadas. También es importante que los trabajadores tengan acceso a zonas limpias para comer.

HIDROCARBUROS SATURADOS Y ALICICLICOS

Los hidrocarburos alifáticos son compuestos formados por carbono e hidrógeno. Pueden ser moléculas ramificadas o lineales de cadena abierta, saturada o insaturada, siendo su nomenclatura la siguiente:

- parafinas (o alcanos)—hidrocarburos saturados
- olefinas (o alquenos)—hidrocarburos insaturados con uno o más dobles enlaces
- acetilenos (o alquinos)—hidrocarburos insaturados con uno o más triples enlaces.

Las fórmulas generales son C_nH_{2n+2} para las parafinas, C_nH_{2n} para las olefinas, y C_nH_{2n-2} para los acetilenos.

Las moléculas más pequeñas son gases a temperatura ambiente (C1 a C4). Al aumentar el tamaño y la complejidad estructural de la molécula, ésta se hace líquida y su viscosidad aumenta con el número de carbonos (C5 a C16). Por último, los hidrocarburos de alto peso molecular son sólidos a temperatura ambiente (mayores de C16). Los hidrocarburos alifáticos de uso industrial derivan principalmente del petróleo, que es una mezcla compleja de hidrocarburos.

Se obtienen por craqueado, destilación y fraccionamiento del petróleo crudo.

El metano, el miembro inferior de la serie, constituye un 85 % del gas natural, que puede ser extraído directamente de bolsas o reservorios existentes cerca de los yacimientos de petróleo. La condensación fraccionada de gas natural permite obtener grandes cantidades de pentano.

Usos

Los hidrocarburos saturados se utilizan en la industria como combustibles, lubricantes y disolventes. Una vez sometidos a procesos de alquilación, isomerización y deshidrogenación, pueden actuar también como materias primas para la síntesis de pinturas, revestimientos protectores, plásticos, caucho sintético, resinas, pesticidas, detergentes sintéticos y una gran variedad de productos petroquímicos.

Los combustibles, lubricantes y disolventes son mezclas que contienen muchos hidrocarburos diferentes.

El *gas natural* se ha distribuido durante mucho tiempo en forma gaseosa para su uso como gas ciudad. Actualmente se licúa en grandes cantidades, se transporta refrigerado y se almacena como líquido refrigerado hasta que se introduce, sin modificar o reformado, en un sistema de distribución de gas ciudad.

Los *gases licuados del petróleo* (GLPs), constituidos principalmente por *propano* y *butano*, se transportan y almacenan a presión o como líquidos refrigerados y se utilizan también para aumentar el suministro de gas ciudad. Se emplean directamente como combustibles, sobre todo en trabajos metalúrgicos de alta calidad que requieren un combustible exento de azufre, en trabajos de soldadura y corte al oxipropano, y en todas aquellas circunstancias en que el aumento de la demanda de combustibles gaseosos por parte de la industria pesada no pueda ser cubierto por el suministro público. Los depósitos utilizados para su almacenamiento varían en tamaño desde aproximadamente 2 toneladas hasta varios miles de toneladas. Los gases licuados del petróleo se utilizan también como propulsores en muchos tipos de aerosoles, y los miembros superiores de la serie, desde el *heptano* en adelante, se utilizan como combustibles para motores y como disolventes. El *isobutano* se emplea para controlar la volatilidad de la gasolina y es un componente del líquido de calibración de instrumentos. El *isooctano* es el combustible utilizado como patrón de referencia para el octanaje de combustibles, y el *octano* es un ingrediente de los combustibles antidetonantes para motores. Además de ser un componente de la gasolina, el *nonano* es también un componente de los detergentes biodegradables.

El principal uso del *hexano* es como disolvente de gomas, cementos y adhesivos para la producción de calzado, tanto de cuero como de plástico. Se usa también como disolvente de colas en el montaje de muebles, como adhesivo para papeles de pared, como disolvente de colas en la producción de bolsos y maletas de cuero y cuero artificial, en la fabricación de impermeables, en el recauchutado de neumáticos y en la extracción de aceites vegetales. En muchos casos, el hexano ha sido sustituido por *heptano* debido a la toxicidad del *n*-hexano. Es imposible enumerar todas las ocasiones en las que el hexano puede estar presente en el medio ambiente de trabajo. Como regla general, su presencia puede sospecharse en disolventes volátiles y desengrasantes que contengan hidrocarburos derivados del petróleo. El *hexano* se utiliza también como agente limpiador en las industrias de tejidos, muebles y cuero. Los hidrocarburos alifáticos utilizados como materias primas de productos intermedios para síntesis pueden ser compuestos individuales de gran pureza o mezclas relativamente simples.

Riesgos

Incendio y explosión

La construcción de grandes complejos para almacenar gas metano y después GLPs se ha asociado a explosiones de gran magnitud y efectos catastróficos, que han puesto de manifiesto el peligro que se pone un derrame masivo de estas sustancias. La mezcla inflamable de gas y aire puede recorrer grandes distancias, incluso superando las distancias que se consideran adecuadas en términos de seguridad, con el resultado de que la mezcla inflamable puede arder por la presencia de un fuego doméstico o el motor de un automóvil situados fuera del perímetro de la zona considerada de riesgo. El vapor puede incendiarse en una gran área, y la propagación de la llama por la mezcla puede realizarse con una violencia explosiva. Muchos incendios y explosiones menores, aunque importantes, se han producido durante el uso de estos hidrocarburos gaseosos.

Los mayores incendios causados por los hidrocarburos líquidos se han producido como consecuencia de escapes masivos de líquidos, que alcanzaron una parte de la fábrica con una fuente de ignición o se extendieron sobre una gran superficie y se evaporaron rápidamente. La explosión de Flixborough (Reino Unido) se atribuyó a un escape de ciclohexano.

Riesgos para la salud

Los dos primeros elementos de la serie, el metano y el etano, son farmacológicamente “inertes” y pertenecen a un grupo de gases llamado “asfixiantes simples”. Estos gases pueden ser tolerados en altas concentraciones en el aire inspirado sin producir efectos sistémicos. Cuando la concentración es lo bastante alta como para diluir o desplazar el oxígeno normalmente presente en el aire, sus efectos se producen por ausencia de oxígeno y asfixia. El *metano* es inodoro y, por tanto, difícil de detectar. Su baja densidad hace que tienda a acumularse en zonas mal ventiladas, donde produce una atmósfera asfixiante. El etano, a concentraciones inferiores a 50.000 ppm (5 %) en la atmósfera, no produce efectos sistémicos por inhalación. Desde el punto de vista farmacológico, los hidrocarburos superiores al etano pueden considerarse dentro del grupo de los anestésicos generales, en esa larga lista de sustancias conocidas como depresores del sistema nervioso central. Los vapores de estos hidrocarburos producen una ligera irritación de las mucosas. La intensidad de la irritación aumenta de pentano a octano. En general, la toxicidad de los alcanos aumenta al hacerlo el número de carbonos de la molécula. Asimismo, los alcanos de cadena lineal son más tóxicos que los isómeros ramificados. Los hidrocarburos parafínicos líquidos son disolventes de grasas e irritantes primarios de la piel. El contacto repetido o prolongado con la piel, la seca y desengrasa, con resultado de irritación y dermatitis. El contacto directo de los hidrocarburos líquidos con el tejido pulmonar (por aspiración) produce neumonitis química, edema pulmonar y hemorragia. La intoxicación crónica por *n*-hexano o mezclas que contengan *n*-hexano puede causar polineuropatía.

La exposición breve a concentraciones de propano de 10.000 ppm (1 %) no produce síntomas en el ser humano. La concentración de 100.000 ppm (10 %) no es irritante para los ojos, la nariz ni el tracto respiratorio, si bien produce un ligero mareo al cabo de unos minutos. El *gasbutano* causa sopor, pero no efectos sistémicos, con exposiciones a 10.000 ppm (1 %) durante 10 minutos.

El *pentano* es el miembro inferior de la serie que es líquido a temperatura y presión ambiente. En estudios realizados en sujetos humanos, una exposición de 10 minutos a 5.000 ppm (0,5 %) no produjo irritación de las mucosas ni otros síntomas.

El *heptano* causó un ligero mareo en hombres expuestos durante 6 minutos a 1.000 ppm (0,1 %) y durante 4 minutos a 2.000 ppm (0,2 %). La exposición durante 4 minutos a 5.000 ppm (0,5 %) de heptano causó un intenso mareo, incapacidad de caminar en línea recta, hilaridad y descoordinación. Estos efectos sistémicos se produjeron en ausencia de irritación de las mucosas. La exposición durante 15 minutos a esa concentración de heptano produjo un estado de intoxicación caracterizado por hilaridad incontrolada en algunos individuos, y en otros produjo estupor, que duró hasta 30 minutos después de cesar la exposición. En muchos casos, estos síntomas se intensificaron o manifestaron por primera vez al entrar en una atmósfera no contaminada. Los individuos presentaron también pérdida de apetito, leves náuseas, y un sabor semejante a gasolina durante varias horas después de la exposición a heptano.

El *octano* a concentraciones de entre 6.600 y 13.700 ppm (de 0,66 a 1,37 %) causó narcosis en ratones durante 30-90 minutos. La exposición a concentraciones menores de 13.700 ppm (1,37 %) no provocó muerte ni convulsiones.

Ante la posibilidad de que, en una mezcla de alcanos, sus componentes tengan efectos tóxicos aditivos, el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos ha recomendado mantener un valor límite umbral para alcanos totales (C5 a C8) de 350 mg/m³ como media ponderada en el tiempo, con un valor máximo para 15 minutos de 1.800 mg/m³, igualmente el INSHT en España recomienda un VLA-ED de 350 mg/m³. El *n*-hexano se considera por separado debido a su neurotoxicidad.

***n*-Hexano**

El *n*-Hexano es un hidrocarburo alifático (o alcano) de cadena lineal y saturado, con la fórmula general C_nH_{2n+2} y uno de la serie de hidrocarburos con puntos de ebullición bajos (entre 40 y 90 °C) que pueden obtenerse del petróleo mediante diversos procesos (craqueo, rectificación). Estos hidrocarburos son una mezcla de alcanos y cicloalcanos con cinco a siete átomos de carbono (*n*-Pentano, *n*-Hexano, *n*-Heptano, isopentano, ciclopentano, 2-metilpentano, 3-metilpentano, ciclohexano, metilciclopentano).

Su destilación fraccionada permite obtener hidrocarburos simples con diversos grados de pureza. El hexano se vende comercialmente como una mezcla de isómeros con seis átomos de carbono y un punto de ebullición comprendido entre 60 y 70 °C. Los isómeros más comunes son 2-metilpentano, 3-metilpentano, 2,3-dimetilbutano y 2,2-dimetilbutano. El término *hexano técnico* de uso comercial se refiere a una mezcla que contiene no sólo *n*-hexano y sus isómeros, sino también otros hidrocarburos alifáticos con cinco a siete átomos de carbono (pentano, heptano y sus isómeros). Los hidrocarburos con seis átomos de carbono, entre ellos el *n*-hexano, están presentes en los siguientes derivados del petróleo: éter de petróleo, gasolina, nafta y ligroína, y combustibles para reactores.

La exposición a *n*-hexano puede ser o no de origen profesional. En el entorno de trabajo puede ocurrir como resultado de la utilización de disolventes para colas, cementos, adhesivos y líquidos desengrasantes. En laboratorios de investigación es ampliamente usado. El contenido de *n*-hexano de estos disolventes varía. En pegamentos para calzado y caucho, puede llegar hasta el 40 ó 50 % del disolvente en peso. Los usos aquí mencionados son los que han causado enfermedades profesionales en el pasado y, en algunos casos, el hexano ha sido ya sustituido por heptano. Puede también producirse exposición profesional a *n*-hexano por inhalación de vapores de petróleo en depósitos de combustible o talleres de reparación de automóviles. No obstante, el peligro de esta forma de exposición profesional es muy pequeño, puesto que la concentración de *n*-hexano en la gasolina para automóviles se mantiene por debajo del 10 % debido a la necesidad de un alto índice de octanaje.

La exposición no profesional se produce sobre todo en niños o drogadictos que esnifan pegamento o gasolina. En este caso, el contenido de *n*-hexano varía desde un alto porcentaje en el pegamento hasta 10 % o menos en la gasolina.

Riesgos

El *n*-Hexano puede penetrar en el organismo por dos vías: por inhalación o a través de la piel. Sea cual sea la vía, la absorción es lenta. De hecho, las medidas de la concentración en equilibrio de *n*-hexano en el aire espirado han demostrado el paso de los pulmones a la sangre

de una fracción del *n*-hexano inhalado de entre el 5,6 y el 15 %. La absorción a través de la piel es extremadamente lenta.

El *n*-Hexano produce los mismos efectos en la piel que los descritos previamente para otros hidrocarburos alifáticos líquidos. El hexano tiende a evaporarse cuando se ingiere o aspira en el árbol traqueobronquial. El resultado puede ser su rápida dilución en el aire alveolar y un descenso marcado del contenido de oxígeno, con asfixia y consiguiente lesión cerebral o parada cardíaca. Las lesiones irritativas pulmonares que se producen después de la aspiración de homólogos superiores (p. ej. octano, nonano, decano, etc.) y de mezclas de los mismos (p. ej. queroseno) no parecen deberse al hexano. Los efectos agudos o crónicos se producen casi siempre por inhalación. El hexano exhibe una toxicidad aguda tres veces mayor que el pentano. Los efectos agudos se producen por exposición a altas concentraciones de vapor de *n*-hexano y van desde mareo después de una exposición breve a concentraciones de aproximadamente 5.000 ppm, hasta convulsiones y narcosis observadas en animales a concentraciones de proximadamente 30.000 ppm. En el ser humano, la exposición durante 10 minutos a una concentración de 2.000 ppm (0,2 %) no produce síntomas. La exposición a 880 ppm durante 15 min puede causar irritación de los ojos y el tracto respiratorio superior.

Los efectos crónicos se producen por exposición prolongada a dosis que no producen síntomas agudos aparentes y tienden a desaparecer lentamente cuando finaliza la exposición. A finales del decenio de 1960 y principios del decenio de 1970, se detectaron algunos brotes de polineuropatías sensorimotoras y sensoriales en trabajadores expuestos a mezclas de disolventes que contenían *n*-hexano en concentraciones de entre 500 y 1.000 ppm, con algunos picos mayores y algunos casos de sintomatología con concentraciones de tan sólo 50 ppm. Se observaron también algunos casos de atrofia muscular y afectación de nervios craneales, con trastornos visuales y parálisis facial. Aproximadamente un 50 % mostró desnervación y regeneración de los nervios. También se notificó sensación de hormigueo, entumecimiento y debilidad de las extremidades, principalmente en las piernas. A menudo se observó marcha vacilante. Los reflejos del tendón de Aquiles desaparecieron; la sensación de tacto y calor disminuyeron. El tiempo de conducción se redujo en los nervios motores y sensoriales de brazos y piernas. El curso de la enfermedad es, en general, muy lento. Después de la aparición de los primeros síntomas, suele producirse un deterioro del cuadro clínico por agravamiento de la

deficiencia motora de las regiones afectadas en un principio y su extensión a aquellas que hasta entonces se habían mantenido intactas. Este deterioro puede persistir varios meses después de haber cesado la exposición. La lesión suele extenderse de los miembros inferiores a los superiores. En casos muy graves aparece parálisis motora ascendente con deficiencia funcional de los músculos respiratorios.

La recuperación puede durar entre 1 y 2 años; generalmente es completa, aunque en algunos casos persiste la disminución de los reflejos tendinosos, en particular los del tendón de Aquiles pese a un estado de salud aparentemente bueno.

En casos graves de intoxicación con *n*-hexano, se han observado síntomas en el sistema nervioso central (defectos de la función visual o de la memoria) relacionados con una degeneración del núcleo visual y las estructuras hipotalámicas, que pueden ser permanentes.

Experimentalmente, el *n*-hexano de grado técnico causa trastornos en los nervios periféricos de los ratones a concentraciones iguales o superiores a 250 ppm después de 1 año de exposición.

Los estudios metabólicos han demostrado que, en cobayas, el *n*-hexano y la metil butil cetona (MBK) se metabolizan a los mismos compuestos neurotóxicos (2-hexanodiol y 2,5-hexanodiona). En biopsias musculares se han observado modificaciones anatómicas de los nervios que explican las manifestaciones clínicas antes descritas, tanto en animales de laboratorio como en sujetos humanos enfermos. Schaumberg y Spencer consiguieron por primera vez en 1976 reproducir experimentalmente la polineuritis por *n*-hexano.

Es evidente, como se ha demostrado en experimentos animales y en la práctica clínica, que la MBK también es neurotóxica. El más tóxico de los metabolitos de *n*-hexano es la 2,5-hexanodiona.

Otro aspecto importante de la relación entre el metabolismo del *n*-hexano y la toxicidad es el efecto sinérgico que ha demostrado tener la metil etil cetona (MEK) en la neurotoxicidad producida por *n*-hexano y MBK. La MEK no es neurotóxica en sí misma para animales ni seres

humanos, pero causa lesiones de los sistemas nerviosos periféricos en animales tratados con *n*-hexano o MBK, que aparecen más rápidamente que las lesiones similares provocadas sólo por dichas sustancias. La explicación más probable es una interferencia metabólica de MEK con la ruta que convierte *n*-hexano y MBK en los metabolitos neurotóxicos mencionados antes.

Medidas de seguridad y salud

De las observaciones anteriores se deduce que debe evitarse la asociación de *n*-hexano con MBK o MEK en disolventes de uso industrial. Siempre que sea posible, se sustituirá *heptano* por hexano.

Con respecto a los VLA en vigor para *n*-hexano, se han observado alteraciones EMG en trabajadores expuestos a concentraciones de 144 mg/ml (40 ppm) que están ausentes en los trabajadores no expuestos a *n*-Hexano. El seguimiento médico de los trabajadores expuestos se basa en los datos relativos a la concentración de *n*-hexano en la atmósfera y en observaciones clínicas, principalmente en el campo neurológico. El seguimiento biológico de la 2,5-hexanodiona en la orina es el indicador más útil de la exposición, aunque la MBK puede interferir con esta medición. En caso necesario, la medición de *n*-hexano en el aire espirado al final del turno de trabajo puede confirmar la exposición.

Cicloparafinas (cicloalcanos)

Las cicloparafinas son hidrocarburos alicíclicos en los que tres o más átomos de carbono de cada molécula se unen formando una estructura en anillo y cada uno de los átomos de carbono del anillo se unen a dos átomos de hidrógeno o grupos alquilo. Los miembros de este grupo tienen la fórmula general C_nH_{2n} . Entre los derivados de estas cicloparafinas se encuentran compuestos como el metilciclohexano ($C_6H_{11}CH_3$). Desde el punto de vista de la seguridad y la salud en el trabajo, los más importantes de ellos son el ciclohexano, el ciclopropano y el metilciclohexano. El *ciclohexano* se utiliza en decapantes y barnices; como disolvente de lacas y resinas, caucho sintético, y grasas y ceras en la industria de perfumes; como producto químico intermedio en la fabricación de ácido adípico, benceno, cloruro de

ciclohexilo, nitrociclohexano, ciclohexanol y ciclohexanona; y para determinaciones de peso molecular en química analítica.

El *ciclopropano* es un anestésico general.

Riesgos

Las cicloparafinas y sus derivados son líquidos inflamables, y sus vapores forman concentraciones explosivas con el aire a temperatura ambiente normal.

Pueden producir efectos tóxicos por inhalación e ingestión, y tienen una acción irritante y desengrasante de la piel. En general, las cicloparafinas son anestésicos y depresores del sistema nervioso central, pero su toxicidad aguda es escasa y al ser eliminadas casi por completo del organismo, el peligro de intoxicación crónica es relativamente pequeño.

Ciclohexano. La toxicidad aguda del ciclohexano es muy pequeña. En ratones, la exposición a una concentración de 18.000 ppm (61,9 mg/l) de vapor de ciclohexano en el aire produjo temblores al cabo de 5 minutos, alteraciones del equilibrio al cabo de 15 minutos, y postración completa al cabo de 25 minutos. En conejos, los temblores aparecieron a los 6 minutos, las alteraciones del equilibrio a los 15 minutos y la postración completa a los 30 minutos. No se observaron cambios tóxicos en los tejidos de los conejos después de una exposición durante 50 períodos de 6 h a concentraciones de 1,46 mg/l (434 ppm). La concentración de 300 ppm de ciclohexano pudo detectarse por su olor y produjo una cierta irritación de los ojos y las mucosas. Los vapores de ciclohexano causan un leve y corto efecto anestésico, pero más potente que el del hexano.

Los experimentos con animales han demostrado que el ciclohexano es mucho menos nocivo que el benceno, su análogo cíclico aromático de seis miembros y, en concreto, no ataca el sistema hematopoyético como lo hace el benceno. Se cree que la ausencia virtual de efectos nocivos en los tejidos hematopoyéticos se debe, al menos en parte, a diferencias en el metabolismo del ciclohexano y el benceno. Se han identificado dos metabolitos del ciclohexano, ciclohexano y ciclohexanol; el primero de ellos se oxida parcialmente a ácido adípico. Ninguno de los derivados fenólicos característicos de la toxicidad de benceno se han encontrado como

metabolitos en animales expuestos a ciclohexano, lo que ha llevado a proponer la sustitución de benceno por ciclohexano como disolvente. El *metilciclohexano* tiene efectos tóxicos similares, pero menos intensos, que el ciclohexano. La exposición reiterada de conejos a 1.160 ppm durante 10 semanas no produjo efectos, y solamente se observaron lesiones leves hepáticas y renales con 3.330 ppm.

La exposición prolongada a 370 ppm resultó ser inofensiva para los monos. No se han notificado efectos tóxicos por exposición industrial a metilciclohexano ni intoxicación causada por este compuesto en seres humanos. Estudios realizados con animales demuestran que la mayor parte de esta sustancia que penetra en el torrente circulatorio se conjuga con ácidos sulfúrico y glucurónico y se excreta en la orina como sulfatos o glucurónidos, sobre todo glucurónido de *trans*-4-metilciclohexanol.

HIDROCARBUROS, ALIFATICOS Y HALOGENADOS

Los hidrocarburos alifáticos halogenados son productos químicos orgánicos en los que uno o más átomos de hidrógeno han sido sustituidos por un halógeno (es decir, se han fluorado, clorado, bromado o yodado). Los productos químicos alifáticos no contienen un anillo de benceno.

Los hidrocarburos alifáticos clorados se obtienen mediante la cloración de hidrocarburos, la adición de cloro o cloruro de hidrógeno a compuestos insaturados, la reacción entre cloruro de hidrógeno o hipoclorito de calcio y alcoholes, aldehídos o cetonas y, excepcionalmente, la cloración de disulfuro de carbono o algún otro proceso. En algunos casos se necesitan más etapas (p. ej., cloración con subsiguiente eliminación de cloruro de hidrógeno) para obtener el derivado deseado y, generalmente, se obtiene una mezcla de la que habrá de separarse la sustancia deseada. Los hidrocarburos alifáticos bromados se obtienen de forma similar, mientras que para la producción de los hidrocarburos yodados y, sobre todo, de los fluorados, se suelen utilizar otros métodos, como la producción electrolítica de yodoformo. Puesto que el punto de ebullición de las sustancias es, en general, mayor cuanto mayor sea su masa molecular y, a su vez, aumenta por halogenación, sólo los hidrocarburos alifáticos halogenados con un grado de fluoración no muy alto (hasta el decafluorobutano inclusive), el clorometano, el diclorometano, el cloroetano, el cloroetileno y el bromometano, son gaseosos a temperatura ambiente. La

mayoría de los demás compuestos de este grupo son líquidos. Los compuestos clorados más pesados, así como el tetrabromometano y el triyodometano, son sólidos. El olor de los hidrocarburos suele aumentar con la halogenación y algunos miembros volátiles del grupo no sólo tienen un olor desagradable, sino además un marcado sabor dulzón (p. ej. el cloroformo y los derivados del etano y del propano con un alto grado de halogenación).

Usos

Los hidrocarburos alifáticos y alicíclicos halogenados insaturados se utilizan en la industria como disolventes, productos químicos intermedios, fumigadores e insecticidas. Se encuentran en las industrias de productos químicos, pinturas y barnices, textiles, caucho, plásticos, colorantes, productos farmacéuticos y limpieza en seco.

Las aplicaciones industriales de los hidrocarburos alifáticos y alicíclicos halogenados saturados son numerosas, pero las más importantes son su uso como disolventes, productos químicos intermedios, compuestos para extinción de incendios y productos limpiametales. Estos compuestos se encuentran en las industrias del caucho, plásticos, metalistería, pinturas, barnices, asistencia sanitaria y textiles. Algunos son componentes de insecticidas y fumigadores de tierras y otros son agentes vulcanizadores del caucho.

El *1,2,3-tricloropropano* y el *1,1-dicloroetano* son disolventes e ingredientes de productos decapantes de pinturas y barnices, mientras que el *bromuro de metilo* es un disolvente de colorantes anilínicos. El *bromuro de metilo* también se utiliza en el desengrasado de la lana, la esterilización de alimentos para el control de plagas y la extracción de aceites de flores. El *cloruro de metilo* es un disolvente y diluyente del caucho butílico, un componente de los líquidos para equipos termométricos y termostáticos y un agente espumante para plásticos.

El *1,1,1-tricloroetano* se utiliza principalmente para la limpieza de metales en frío y como refrigerante y lubricante para cuchillas. Es un agente limpiador de instrumentos mecánicos de precisión, un disolvente de colorantes y un componente de líquidos quitamanchas en la industria textil; en la industria de los plásticos, el 1,1,1-tricloroetano se utilizara la limpieza de los moldes de plástico.

El 1,1-dicloroetano es un disolvente, limpiador y desengrasante utilizado en adhesivos de caucho, pulverizadores de insecticidas, extintores de incendios y gasolinas, así como en el caucho de alto vacío, en la flotación de minerales, en los plásticos y en el ensanchado de tejidos en la industria textil. La termodesintegración del 1,1-dicloroetano produce cloruro de vinilo.

El *1,1,2,2-tetracloroetano* tiene diversas funciones como disolvente no inflamable en las industrias del caucho, pinturas y barnices, metales y pieles. También es un agente antipolilla para tejidos y se utiliza en películas fotográficas, en la fabricación de seda y perlas artificiales y para estimar el agua que contiene el tabaco.

El *dicloruro de etileno* tiene usos limitados como disolvente y como producto químico intermedio. Se encuentra en decapantes de pinturas, barnices y lustres y se utiliza como aditivo en la gasolina para reducir el contenido de plomo.

El *diclorometano o cloruro de metileno* se utiliza principalmente como disolvente en formulaciones industriales y decapantes de pinturas, y en ciertos aerosoles, entre ellos pesticidas y productos cosméticos. Sirve como disolvente de proceso en las industrias farmacéutica, de los plásticos y alimentaria. El cloruro de metileno también se emplea como disolvente de adhesivos y en análisis de laboratorio. La principal aplicación del *1,2-dibromoetano* es en la formulación de agentes antidetonantes a base de plomo que se mezclan con la gasolina. También se utiliza en la síntesis de otros productos y como componente de líquidos que tengan índice de refracción. El cloroformo sirve como producto químico intermedio, producto de limpieza en seco y disolvente del caucho. El *hexacloroetano* es un agente desgasificador para metales como aluminio y magnesio. Se utiliza para eliminar impurezas de metales fundidos y para inhibir la explosividad del metano y la combustión del perclorato amónico. Se emplea en pirotecnia, en explosivos y en aplicaciones militares.

El *bromoformo* es un disolvente, retardador de llama y agente de flotación. Se utiliza en la separación de minerales, en la vulcanización del caucho y en la síntesis de productos químicos. El *tetracloruro de carbono* se utilizaba antiguamente como disolvente desengrasante y en líquidos de limpieza en seco, productos antimanchas para tejidos y agentes extintores de

incendios, pero su toxicidad ha obligado a abandonar su uso en productos de consumo y de fumigación. Puesto que en gran parte se utiliza para la fabricación de clorofluorocarburos, que a su vez se están retirando de la gran mayoría de las aplicaciones comerciales, el uso del tetracloruro de carbono seguirá disminuyendo en el futuro. Actualmente se utiliza en la fabricación de semiconductores, en cables, en la recuperación de metales, como catalizador, como agente de secado azeotrópico para bujías húmedas, como fragancia para jabones y en la extracción de aceites de flores. Aunque sustituido por el tetracloroetileno en la mayoría de sus aplicaciones, el *tricloroetileno* actúa como agente desengrasante, disolvente y diluyente de pinturas. Sirve como agente para eliminar hilos de hilvanar en la industria textil, como anestésico en odontología y como agente humectante para la tinción de poliéster. El tricloroetileno también se utiliza en el desengrasado al vapor de piezas metálicas. Se ha empleado en líquidos correctores para mecanografía y como disolvente para la extracción de caféina. El tricloroetileno, el *3-cloro-2-metil-1-propeno* y el *bromuro de alilo* se encuentran en productos fumigadores e insecticidas. El *2-cloro-1,3-butadieno* se emplea como producto químico intermedio en la fabricación de caucho artificial. El *hexacloro-1,3-butadieno* se utiliza como disolvente, como intermedio en la producción de lubricantes y caucho y como pesticida para fumigación. El *cloruro de vinilo* se utiliza principalmente en la industria de los plásticos y en la síntesis de cloruro de polivinilo (PVC). Antiguamente se utilizaba mucho como refrigerante, disolvente de extracción y propelente de aerosoles. Es un componente de las baldosas de vinilo-amianto. Otros hidrocarburos insaturados se utilizan principalmente como disolventes, retardadores de llama, líquidos de intercambio calorífico y productos de limpieza en muy diversas industrias.

El *tetracloroetileno* se utiliza en síntesis químicas y en el acabado, apresto y desencolado de telas. También se emplea en la limpieza en seco y en los líquidos aislantes y los gases refrigerantes de los transformadores.

El *cis-1,2-dicloroetileno* es un disolvente para perfumes, tintes, lacas de barnizar, termoplásticos y caucho. El *bromuro de vinilo* es un retardador de llama para materiales de refuerzo de alfombras, ropa de cama y artículos para el hogar. El *cloruro de alilo* se utiliza en resinas termoestables para barnices y plásticos y como producto químico intermedio. El *1,1-dicloroetileno* se utiliza en el envasado de alimentos y el *1,2-dicloroetileno* es un agente de

extracción a bajas temperaturas de sustancias termosensibles, como los aceites esenciales y la cafeína del café.

Riesgos

La producción y el uso de hidrocarburos alifáticos halogenados crean serios problemas para la salud. Sus efectos tóxicos locales y sistémicos son numerosos, siendo los más graves su carcinogenicidad y mutagenicidad, sus efectos en el sistema nervioso y las lesiones que producen en órganos vitales, especialmente el hígado. A pesar de la relativa simplicidad química del grupo, sus efectos tóxicos son muy variables y no es fácil establecer una relación entre la estructura y el efecto producido.

Cáncer. Desde hace mucho tiempo existen evidencias experimentales de la carcinogenicidad de algunos hidrocarburos alifáticos halogenados (p. ej., cloroformo y tetracloruro de carbono).

s hidrocarburos alifáticos halogenados presentan además propiedades mutágenas y teratógenas. La *depresión del sistema nervioso central* (SNC) es el efecto agudo más destacado de muchos hidrocarburos alifáticos halogenados.

La reacción típica es un estado de embriaguez y excitación, seguido por narcosis, razón por la cual muchos de los productos químicos de este grupo se han utilizado como anestésicos e incluso como drogas. Su efecto narcótico es variable: algunos producen efectos narcóticos muy acusados y otro muy débiles. En exposiciones agudas graves siempre existe peligro de muerte por insuficiencia respiratoria o parada cardíaca, ya que los hidrocarburos alifáticos halogenados aumentan la susceptibilidad cardíaca a las catecolaminas. Los *efectos neurológicos* de algunos compuestos, como el cloruro de metilo y el bromuro de metilo, así como otros compuestos bromados o yodados de este grupo, son mucho más intensos, especialmente cuando la exposición es repetida o crónica. Sus efectos en el sistema nervioso central no pueden describirse como una simple depresión del sistema nervioso, ya que los síntomas pueden ser extremos y consistir en cefalea, náuseas, ataxia, temblores, dislalia, alteraciones visuales, convulsiones, parálisis, delirio, manías o apatía. Estos efectos pueden ser duraderos y de recuperación muy lenta y pueden producirse lesiones neurológicas permanentes. Los efectos asociados a los

diferentes productos químicos reciben nombres tales como “encefalopatía por cloruro de metilo” o “encefalomielitis por cloropreno”. Los nervios periféricos también pueden resultar afectados, como ocurre en la polineuritis por tetracloroetano o dicloroacetileno. *Efectos sistémicos*. Prácticamente todos los hidrocarburos alifáticos halogenados son nocivos para el hígado, los riñones y otros órganos, si bien el alcance de las lesiones varía notablemente de uno a otro miembro del grupo. Puesto que las lesiones no se manifiestan inmediatamente, algunas veces se ha considerado que son sustancias de efectos retardados. El curso de la intoxicación; aguda suele describirse como bifásico: en la primera fase se aprecian signos de un efecto reversible razonable (narcosis), y en la segunda fase se presentan signos de lesiones orgánicas. Otros efectos, como el cáncer, pueden tener períodos de latencia extremadamente largos. Sin embargo, no siempre es posible establecer una clara distinción entre los efectos tóxicos de una exposición crónica o repetida y los efectos retardados de la intoxicación aguda. No existe una relación sencilla entre la intensidad de los efectos inmediatos y retardados de algunos hidrocarburos alifáticos halogenados. Algunas sustancias de este grupo ejercen un efecto narcótico muy marcado y efectos retardados débiles, mientras que otras son muy peligrosas porque provocan lesiones irreversibles en los órganos sin que muestren efectos inmediatos intensos. Casi nunca se ve afectado un solo órgano o sistema. En particular, las lesiones rara vez se producen únicamente en el hígado o los riñones, ni siquiera en el caso de los compuestos considerados típicamente hepatotóxicos (p. ej., tetracloruro de carbono) o nefrotóxicos (p. ej., bromuro de metilo).

Las *propiedades como irritantes locales* de estas sustancias son especialmente acusadas en el caso de algunos de los miembros insaturados. No obstante, existen diferencias sorprendentes entre compuestos muy similares (p. ej., el octafluorisobutileno es muchísimo más irritante que el isómero octafluoro-2-butenos). En el caso de otros compuestos de este grupo, el riesgo principal de la exposición aguda por inhalación es el de irritación pulmonar (p. ej., cloruro de alilo) y algunos de ellos son lacrimógenos (p. ej., tetrabromuro de carbono). Las altas concentraciones de vapores o las salpicaduras de líquidos pueden ser peligrosas para los ojos en determinados casos. No obstante, las lesiones que producen la mayor parte de los hidrocarburos alifáticos halogenados más utilizados remiten espontáneamente y sólo la exposición prolongada de la córnea provoca lesiones permanentes. Algunas de estas sustancias, como el 1,2-dibromometano y el 1,3-dicloropropano, son irritantes y lesivas para la piel, provocando

enrojecimiento, vesiculación y necrosis incluso aunque el contacto haya sido muy breve. Como buenos disolventes que son, todos estos productos químicos dañan la piel y la desengrasan, tornándola reseca, vulnerable y agrietada, especialmente cuando se producen contactos repetidos.

Riesgos de compuestos específicos

El *tetracloruro de carbono* es un producto químico extremadamente peligroso que ha causado la muerte por intoxicación de trabajadores sometidos a exposiciones agudas al mismo. La IARC lo ha clasificado en el Grupo 2B como posible carcinógeno humano y muchas autoridades, como la British Health and Safety Executive, han exigido que se abandone progresivamente su uso en la industria. Puesto que una gran parte del tetracloruro de carbono se utilizaba en la producción de clorofluorocarburos, la práctica eliminación de estos productos químicos ha hecho también que disminuya el uso de este disolvente en la industria. La mayoría de las intoxicaciones por tetracloruro de carbono se han producido por inhalación de sus vapores. No obstante, esta sustancia se absorbe fácilmente por vía digestiva. Al ser un buen disolvente de grasas, el contacto del tetracloruro de carbono con la piel la desengrasa, lo que puede dar lugar a la aparición de una dermatitis séptica secundaria. Como se absorbe por vía percutánea, deben tomarse precauciones para evitar el contacto prolongado y repetido de esta sustancia con la piel. El contacto con los ojos puede causar irritación pasajera, pero no provoca lesiones graves.

El tetracloruro de carbono exhibe propiedades anestésicas y la exposición a altas concentraciones de vapores pueden causar la rápida pérdida de consciencia. Las personas expuestas a concentraciones de vapores de tetracloruro de carbono inferiores a las anestésicas presentan con frecuencia otros efectos en el sistema nervioso, como mareo, vértigos, cefalea, depresión, confusión mental y descoordinación. A concentraciones más altas provoca arritmias cardíacas y fibrilación ventricular. Algunas personas expuestas a concentraciones de vapores sorprendentemente bajas sufren trastornos gastrointestinales, como náuseas, vómitos, dolores abdominales y diarrea.

Los efectos del tetracloruro de carbono en el hígado y los riñones merecen una atención especial cuando se evalúan los riesgos potenciales a los que están expuestas las personas que trabajan con este compuesto. Debe recordarse que el consumo del alcohol potencia sus efectos nocivos. La respuesta inicial consiste en oliguria o anuria, seguida en pocos días por diuresis. La orina recogida durante el período de diuresis tiene una baja densidad relativa y suele contener proteínas, albúmina, cilindros pigmentados y hematíes. El aclaramiento renal de insulina, diodrast y ácido *p*-aminohipúrico disminuye, lo cual indica una reducción del flujo sanguíneo a través del riñón, así como daños glomerulares y tubulares. La función renal retorna gradualmente a la normalidad y, en el plazo de entre 100 y 200 días después de la exposición, alcanza el límite inferior de normalidad. El examen histopatológico de los riñones revela diversos grados de deterioro del epitelio tubular.

Cloroformo. El cloroformo es uno de los hidrocarburos clorados volátiles más peligrosos. Es nocivo cuando penetra en el organismo por inhalación, por ingestión o por contacto con la piel y puede provocar narcosis, parálisis respiratoria, parada cardíaca o muerte tardía por lesiones hepáticas y renales. Algunas personas lo esnifan. El cloroformo líquido desengrasa la piel y produce quemaduras químicas. En la rata y el ratón tiene efectos teratógenos y cancerígenos. Cuando el cloroformo reacciona con oxidantes fuertes, se forma fosgeno. El cloroformo es un producto químico ampliamente utilizado en productos comerciales y se forma espontáneamente por cloración de compuestos orgánicos, como en el agua potable clorada. El cloroformo atmosférico se deriva al menos en parte de la degradación fotoquímica del tricloroetileno. En presencia de luz solar, se descompone lentamente en fosgeno, cloro y cloruro de hidrógeno. Basándose en las evidencias experimentales disponibles, la IARC ha clasificado el cloroformo en el Grupo 2B como posible carcinógeno humano. La DL50 por vía oral para perros y ratas es aproximadamente de 1 g/kg. Las ratas de dos semanas se; mostraron dos veces más susceptibles que las ratas adultas.

El ratón es más susceptible que la rata, siendo la causa de la muerte las lesiones hepáticas que se producen. En ratas, cobayas y perros expuestos durante 6 meses (7 horas al día, 5 días a la semana) a concentraciones de 25 ppm en el aire, se produjeron alteraciones histopatológicas en el hígado y los riñones. Se observó infiltración grasa, degeneración granular centrilobular con áreas de necrosis en el hígado y alteración de las actividades enzimáticas en el suero, así como

inflamación del epitelio de los túbulos, proteinuria, glucosuria y disminución de la excreción de sulfofenoltaleina. En una serie de estudios se vio que el cloroformo no tiene apenas capacidad para provocar anomalías cromosómicas, por lo que se cree que su carcinogenicidad se debe a mecanismos no genotóxicos. El cloroformo también provoca ciertas anomalías fetales en los animales de experimentación y todavía no se ha establecido una concentración sin efectos. Las personas expuestas a vapores de cloroformo manifiestan síntomas diferentes dependiendo de la concentración y la duración de la exposición: cefalea, sopor, sensación de embriaguez, laxitud, mareo, náuseas, excitación, inconsciencia, depresión respiratoria, coma y muerte en estado de narcosis. La muerte suele producirse por parálisis respiratoria o parada cardíaca. El cloroformo sensibiliza al miocardio frente a las catecolaminas. Una concentración de 10.000-15.000 ppm de cloroformo en el aire inhalado produce anestesia y una concentración de 15.000-18.000 ppm puede ser letal. Las concentraciones hemáticas que producen narcosis varían entre 30 y 50 mg/100 ml. Los niveles de 50-70 mg/100 ml de sangre son letales. Es posible que, en los casos de exposición intensa a esta sustancia, y tras una recuperación transitoria, se produzca la muerte por fracaso de las funciones hepática y renal. Se han descrito efectos del cloroformo en el miocardio. La inhalación de concentraciones muy altas puede provocar parada cardíaca súbita (muerte por shock). Los trabajadores expuestos a concentraciones bajas en el aire durante largos períodos de tiempo y las personas que han desarrollado una dependencia del cloroformo pueden sufrir síntomas neurológicos y gastrointestinales semejantes a los que se dan en el alcoholismo crónico. También se han observado alteraciones hepáticas, con hepatomegalia, hepatitis tóxica y degeneración grasa del hígado.

El *2-cloropropano* es un potente anestésico, pero no se ha utilizado demasiado, ya que provoca vómitos y arritmia cardíaca en las personas y lesiones hepáticas y renales en los animales de experimentación. Las salpicaduras en la piel o en los ojos pueden provocar efectos graves, pero transitorios. Esta sustancia comporta un grave riesgo de incendio.

El *diclorometano (cloruro de metileno)* es muy volátil y en las zonas mal ventiladas pueden acumularse grandes concentraciones atmosféricas capaces de provocar la pérdida de consciencia de los individuos expuestos. Sin embargo, esta sustancia tiene un olor dulzón detectable a concentraciones superiores a 300 ppm, por lo que es fácil percibir su presencia antes de que se alcancen concentraciones con efectos agudos. Aunque no se disponen de datos suficientes en el

hombre, la IARC ha considerado que existen datos suficientes en animales como para clasificar al diclorometano como posible carcinógeno humano.

Se han dado casos de intoxicación mortal en trabajadores que entraron en espacios cerrados donde existían altas concentraciones de diclorometano. Uno de estos casos mortales se produjo durante la extracción de una oleorresina por medio de un proceso en el que la mayoría de las operaciones se realizaron en un sistema cerrado. Sin embargo, el trabajador se intoxicó por los vapores que escapaban por el respiradero interno de suministro del tanque y por los filtros. Se comprobó que la pérdida de diclorometano del sistema alcanzaba los 3.750 litros semanales.

El diclorometano ejerce su principal acción tóxica en el sistema nervioso central, produciendo narcosis y, a concentraciones altas, efectos anestésicos que se evidencian por una intensa fatiga, mareo, sopor e incluso inconsciencia. El margen de seguridad entre estos efectos graves y otros de menor importancia es muy pequeño. Los efectos narcóticos provocan pérdida de apetito, cefalea, mareo, irritabilidad, estupor, entumecimiento y hormigueo en las extremidades. La exposición prolongada a las concentraciones narcóticas más bajas puede producir, después de un período de latencia de varias horas, disnea, tos seca e improductiva con intenso dolor y, posiblemente, edema pulmonar. Algunos autores han observado también alteraciones hemáticas, con disminución del recuento de hematíes y del nivel de hemoglobina; así como congestión local de los vasos cerebrales y dilatación cardíaca.

Con todo, la intoxicación leve no parece producir ninguna discapacidad permanente y la toxicidad hepática potencial del diclorometano es mucho menor que la de otros hidrocarburos halogenados (en especial, el tetracloruro de carbono), si bien los resultados de los experimentos con animales son contradictorios a este respecto. El diclorometano rara vez se utiliza en estado puro, mezclándose a menudo con otros compuestos que sí ejercen un efecto hepatotóxico. Ya en 1972 se demostró que las personas expuestas a diclorometano presentan concentraciones elevadas de carboxihemoglobina (10 % una hora después de la exposición durante dos horas a 1.000 ppm de diclorometano y 3,9 % 17 horas más tarde) debido a la conversión endógena del diclorometano en monóxido de carbono. En aquella época, la exposición a concentración es de diclorometano que no superaran una media ponderada en el tiempo (ED) de 500 ppm podría dar lugar a un nivel de carboxihemoglobina superior al permitido para el monóxido de carbono (un 7,9 % de COHb es el nivel de saturación

correspondiente a una exposición a 50 ppm de CO); y 100 ppm de diclorometano producirían el mismo nivel de COHb o la misma concentración de CO en el aire alveolar que 50 ppm de CO.

El contacto directo con esta sustancia puede provocar irritación de la piel y los ojos, pero los principales problemas industriales que ocasiona la exposición excesiva son los síntomas de embriaguez y descoordinación que produce la intoxicación por diclorometano, y los actos inseguros y los consiguientes accidentes que pueden provocar estos síntomas.

El diclorometano atraviesa la barrera placentaria y puede detectarse en los tejidos del embrión tras la exposición de la madre. También se excreta en la leche materna. En la actualidad, no se dispone de datos suficientes sobre su toxicidad reproductiva.

El *dicloruro de etileno* es inflamable y comporta un grave peligro de incendio. La IARC lo ha clasificado en el Grupo 2B como posible carcinógeno humano. El dicloruro de etileno puede absorberse por vía respiratoria, percutánea y digestiva. Se metaboliza en 2-cloroetanol y ácido monocloroacético, siendo estos dos metabolitos más tóxicos que el compuesto original. El umbral de olor de esta sustancia para el hombre, determinado en condiciones controladas de laboratorio, oscila entre 2 y 6 ppm. No obstante, la adaptación parece producirse relativamente pronto, de manera que al cabo de 1 ó 2 minutos, el olor producido por una concentración de 50 ppm apenas se detecta. El dicloruro de etileno es muy tóxico para el ser humano. Concentraciones de entre 80 y 100 ml son suficientes para provocar la muerte en un plazo de 24 ó 48 horas. La inhalación de 4.000 ppm provoca lesiones graves. A elevadas concentraciones produce irritación inmediata de los ojos, la nariz, la garganta y la piel. Un importante uso de este producto químico es en la fabricación de cloruro de vinilo mediante un proceso en su mayor parte cerrado. No obstante, pueden producirse y se producen fugas que entrañan un riesgo para el trabajador expuesto. El mayor riesgo de exposición se produce durante el vaciado de envases que contienen dicloruro de etileno en el interior de cubetas abiertas, desde donde se utiliza posteriormente para la fumigación de cereales. También se producen exposiciones por fugas durante su fabricación, en la aplicación de pinturas, en la extracción de disolventes y en operaciones de vertido de residuos. El bicloruro de etileno se fotooxida rápidamente en el aire y no se acumula en el medio ambiente. Tampoco parece bioconcentrarse en ninguna cadena alimentaria ni acumularse en los tejidos humanos.

La clasificación del cloruro de etileno como carcinógeno del Grupo 2B se basa en el aumento significativo de la tasa de tumores observado en ratas y ratones de ambos sexos. Muchos de los tumores, como el hemangiosarcoma, son de tipos poco comunes que rara vez se encuentran en los animales de control. El “tiempo transcurrido hasta la aparición de un tumor” en los animales tratados es menor que en los controles. Al haberse demostrado que produce enfermedades malignas progresivas de varios órganos en dos especies de animales, el dicloruro de etileno debe considerarse un posible cancerígeno humano.

Hexaclorobutadieno (HCBD). Se han dado pocos casos de enfermedades de origen profesional relacionadas con esta sustancia. Trabajadores agrícolas que fumigaban viñedos y se vieron expuestos simultáneamente a concentraciones de 0,8-30 mg/m³ de HCBD y 0,12-6,7 mg/m³ de policlorobutano en la atmósfera presentaron hipotensión, trastornos cardíacos, bronquitis crónica, lesiones hepáticas crónicas y alteraciones funcionales del sistema nervioso. En otros trabajadores expuestos se observaron lesiones cutáneas probablemente debidas al HCBD.

El *hexacloroetano* posee un efecto narcótico. No obstante, al ser sólido y tener una presión de vapor bastante baja en condiciones normales, el riesgo de depresión del sistema nervioso central por inhalación es pequeño. Irrita la piel y las mucosas. Se ha observado irritación producida por polvo de esta sustancia y se han descrito casos de trabajadores expuestos a vapores calientes de hexacloroetano que desarrollaron blefarospasmo, fotofobia, lagrimeo y enrojecimiento de la conjuntiva, pero sin lesiones corneales ni secuelas permanentes. En animales se ha demostrado que el hexacloroetano puede provocar cambios distróficos en el hígado y en otros órganos.

La IARC ha asignado el HCBD al Grupo 3 de compuestos inclasificables en términos de carcinogenicidad.

El *cloruro de metilo* es un gas inodoro y, por consiguiente, no advierte de su presencia, razón por la cual puede producirse una exposición considerable sin que los afectados se den cuenta.

También existe riesgo de susceptibilidad individual incluso con exposiciones leves. En animales se ha demostrado que el HCBD ejerce efectos muy diferentes según la especie, afectándose tanto más cuanto mayor sea el desarrollo del sistema nervioso central, lo que hace presumir que en el hombre provoque grados de susceptibilidad superiores. Un riesgo que comporta la exposición

crónica a pequeñas concentraciones es la posibilidad de que la “borrachera”, el mareo y la lenta recuperación de una intoxicación ligera impida que se reconozca la causa o se sospeche la existencia de fugas, lo que provocaría exposiciones prolongadas y accidentes. La mayoría de los casos mortales registrados se produjeron por derrame del líquido de los refrigerados domésticos o por defectos de las plantas de refrigeración. El clorometano comporta también un grave peligro de incendio y explosión.

La intoxicación aguda se caracteriza por un período de latencia de algunas horas entre la exposición y la aparición de los síntomas. Estos síntomas son cefalea, fatiga, náuseas, vómitos y dolor abdominal. Es posible que la persona afectada haya sufrido mareos y sopor durante algún tiempo antes de que se precipite el ataque más agudo por un accidente repentino. Se han descrito pocos casos de intoxicación crónica por exposiciones más leves, posiblemente porque los síntomas desaparecen poco tiempo después de cesar la exposición. Las molestias en los casos leves consisten en mareo, dificultad para caminar, cefalea, náuseas y vómitos. Los síntomas objetivos más frecuentes son marcha tambaleante, nistagmo, trastornos del habla, hipotensión arterial y reducción y alteración de la actividad eléctrica cerebral. Una intoxicación leve prolongada puede provocar lesiones permanentes del músculo cardíaco y del sistema nervioso central, con cambio de la personalidad, depresión, irritabilidad y, ocasionalmente, alucinaciones visuales y auditivas. El aumento del contenido de albúmina en el líquido cefalorraquídeo, con posibles lesiones piramidales y extrapiramidales, puede sugerir un diagnóstico de meningoencefalitis. En los casos de muerte, la autopsia ha demostrado la existencia de congestión pulmonar, hepática y renal.

El *tetracloroetano* es un potente narcótico y, además, es tóxico para el sistema nervioso central y para el hígado. La lenta eliminación del tetracloroetano del organismo podría explicar su toxicidad.

La principal vía de absorción de los vapores de esta sustancia suele ser la vía respiratoria, si bien se han dado casos de absorción percutánea. Se ha especulado sobre la posibilidad de que la absorción percutánea produzca algunos efectos en el sistema nervioso (p. ej., temblores). También es un irritante de la piel y puede producir dermatitis.

La mayoría de las exposiciones laborales al tetracloroetano se deben a su empleo como disolvente. Entre 1915 y 1920 se produjeron una serie de casos mortales durante los procesos de

fabricación de aviones y perlas artificiales, en los que se empleaba tetracloroetano. Otros casos mortales de intoxicación por tetracloroetano han estado relacionados con la fabricación de gafas de seguridad, la industria del cuero artificial, la industria del caucho y una industria bélica no especificada. Se han producido algunos casos no mortales en la fabricación de seda artificial, en el desengrasado de la lana, en la producción de penicilina y en la industria de joyería.

El tetracloroetano es un potente narcótico, dos o tres veces más potente que el cloroformo en animales. En las personas se han producido casos de muerte por ingestión de tetracloroetano. En todos estos casos, la muerte sobrevino en las 12 horas siguientes a la ingestión. También se han registrado casos no mortales con pérdida de consciencia, pero sin efectos secundarios graves. En comparación con el tetracloruro de carbono, los efectos narcóticos del tetracloroetano son mucho más graves, pero los efectos nefrotóxicos son menos acusados. La intoxicación crónica por tetracloroetano puede adoptar dos formas: efectos en el sistema nervioso central, como temblores, vértigo y dolor de cabeza; y síntomas hepatodigestivos como náuseas, vómitos, dolores gástricos, ictericia y aumento del tamaño del hígado.

El *1,1,1-tricloroetano* se absorbe rápidamente por vía respiratoria y digestiva. Puede absorberse también por vía percutánea, pero esto raramente tiene importancia sistémica, a menos que la sustancia se localice en la superficie cutánea bajo una barrera impermeable. La primera manifestación clínica de sobreexposición es una depresión funcional del sistema nervioso central, que comienza con mareos, descoordinación y prueba de Romberg positiva (el individuo tiene que mantenerse en equilibrio sobre un pie, con los ojos cerrados y los brazos en cruz), que progresa a anestesia y parada del centro respiratorio. La depresión del SNC es proporcional a la magnitud de la exposición y típica de un agente anestésico, de ahí el peligro de sensibilización cardíaca a la epinefrina con aparición de arritmia. Tras una intensa sobreexposición, se han observado alteraciones transitorias en el hígado y los riñones y en las autopsias se han detectado lesiones pulmonares. La salpicadura de varias gotas directamente sobre la córnea puede provocar una conjuntivitis leve, que remite por sí sola en pocos días. El contacto prolongado o repetido con la piel produce eritema transitorio y una ligera irritación, debido a la acción desgrasante del disolvente.

Tras la absorción de 1,1,1-tricloroetano, un pequeño porcentaje se metaboliza en dióxido de carbono, mientras que el resto aparece en la orina como glucurónido de 2,2,2-tricloroetanol.

Exposición aguda. Las personas expuestas a 900-1.000 ppm experimentaron irritación ocular leve y transitoria y una alteración inmediata, aunque mínima, de la coordinación. Las exposiciones de esta magnitud también pueden provocar cefalea y laxitud.

Ocasionalmente se han observado alteraciones del equilibrio en individuos “susceptibles” expuestos a concentraciones de 300-500 ppm. Una de las pruebas clínicas más sensibles de intoxicación ligera durante la exposición es la incapacidad de realizar normalmente una prueba de Romberg modificada. Por encima de 1.700 ppm ya se evidencian claras alteraciones del equilibrio.

La mayoría de los pocos casos mortales documentados en la bibliografía se produjeron por exposición a concentraciones anestésicas del disolvente, por depresión del centro respiratorio o por arritmia resultante de la sensibilización cardíaca a la epinefrina.

La IARC considera que el 1,1,1-tricloroetano es inclasificable (Grupo 3) en términos de carcinogenicidad. El isómero *1,1,2-tricloroetano* se utiliza como producto químico intermedio y como disolvente. La principal respuesta farmacológica a este compuesto es la depresión del SNC. Su toxicidad aguda parece ser menor que la del isómero 1,1,2-. Aunque la IARC lo considera una sustancia inclasificable en términos de carcinogenicidad (Grupo 3), algunos organismos públicos lo tratan como posible carcinógeno humano (p. ej., el National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) de Estados Unidos).

Tricloroetileno. En condiciones normales de uso, el tricloroetileno no es inflamable ni explosivo, pero puede descomponerse a altas temperaturas dando ácido clorhídrico, fosgeno (en presencia de oxígeno atmosférico) y otros compuestos. Estas condiciones (temperaturas superiores a 300 °C) pueden darse en los metales calentados, en la soldadura al arco y en las llamas desnudas. En presencia de álcalis fuertes (p. ej., hidróxido sódico), puede formarse dicloroacetileno, un compuesto tóxico, explosivo e inflamable.

El tricloroetileno tiene principalmente un efecto narcótico. La exposición a altas concentraciones de vapores (superiores a 1.500 mg/m³) produce un cuadro de excitación o

euforia que irá seguido de mareo, confusión, sopor, náuseas, vómitos y, posiblemente, pérdida de consciencia. Cuando se produce la ingestión accidental de tricloroetileno, estos síntomas van precedidos por una sensación de quemazón en la garganta y el esófago. En caso de intoxicación por inhalación, la mayoría de las manifestaciones desaparecen cuando se respira aire no contaminado y se elimina el disolvente y sus metabolitos. No obstante, se han producido algunas muertes como consecuencia de accidentes de trabajo. El contacto prolongado de pacientes inconscientes con tricloroetileno líquido puede provocar vesiculación de la superficie cutánea.

Otras posibles complicaciones de la intoxicación por tricloroetileno son neumonitis química y lesiones hepáticas y renales. Las salpicaduras de tricloroetileno en los ojos producen irritación (ardor, lagrimeo y otros síntomas).

Tras el contacto repetido con tricloroetileno líquido, puede producirse dermatitis grave (sequedad, enrojecimiento, aspereza y cuarteamiento de la piel), seguida de infección secundaria y sensibilización.

La IARC ha clasificado el tricloroetileno en el Grupo 2A como probable carcinógeno humano. Además, el sistema nervioso central es el principal órgano afectado por la toxicidad crónica.

Conviene distinguir dos tipos de efectos: (a) el efecto narcótico del tricloroetileno y su metabolito tricloroetanol mientras se encuentran en el organismo; y (b) las secuelas a largo plazo como consecuencia de sobreexposiciones repetidas. Estas secuelas pueden durar varias semanas o incluso meses después de finalizar la exposición al tricloroetileno. Los principales síntomas son laxitud, mareo, irritabilidad, cefalea, trastornos digestivos, intolerancia al alcohol (embriaguez tras consumir pequeñas cantidades de alcohol, enrojecimiento de la superficie de la piel por vasodilatación síntoma conocido como “rubicundez de los desengrasadores”) y confusión mental. Estos síntomas pueden ir acompañados de signos neurológicos de carácter menor (principalmente del cerebro y del sistema nervioso autónomo, rara vez de los nervios periféricos) y deterioro psicológico. En algunos casos se observan irregularidades del ritmo cardíaco y ligera afectación hepática. El efecto eufórico que produce la inhalación de tricloroetileno puede provocar deseo de consumo, habituación y esnifado.

Compuestos alílicos

Los compuestos alílicos son análogos insaturados de los compuestos propílicos correspondientes y se representan con la fórmula general $CH_2:CHCH_2X$, donde X suele ser un halógeno, un hidroxilo o un radical ácido orgánico. Al igual que en el caso de los compuestos vinílicos estrechamente emparentados, las propiedades reactivas del doble enlace han demostrado su utilidad para síntesis químicas y polimerizaciones.

Este doble enlace de los compuestos alílicos se asocia también a ciertos efectos fisiológicos importantes para la higiene industrial.

Se ha observado que los ésteres alifáticos insaturados presentan propiedades irritantes y lacrimógenas de las que carecen (al menos en la misma medida) los ésteres saturados correspondientes, y la DL50 aguda por diversas vías tiende a ser menor en el caso del éster insaturado que en el del compuesto saturado. En estos aspectos se observan diferencias notables entre el acetato de alilo y el acetato de propilo. Sin embargo, las propiedades irritantes no se limitan a los ésteres alílicos, encontrándose en diferentes clases de compuestos alílicos.

El *cloruro de alilo (cloropreno)* tiene propiedades inflamables y tóxicas. Aunque produce un efecto narcótico débil, es muy tóxico. Provoca una intensa irritación de los ojos y de las vías respiratorias superiores. Tanto la exposición aguda como la crónica pueden ocasionar lesiones pulmonares, hepáticas y renales. La exposición crónica también se ha asociado a una disminución de la presión sistólica y de la tonicidad de los vasos cerebrales. En contacto con la piel provoca irritación leve, pero su absorción por vía percutánea causa un dolor muy localizado en la zona de contacto y puede ocasionar lesiones sistémicas.

Los estudios con animales han obtenido resultados contradictorios con respecto a la carcinogenicidad, mutagenicidad y toxicidad reproductiva de esta sustancia. La IARC ha asignado el cloruro de alilo al Grupo 3 como inclasificable.

Compuestos clorados de vinilo y vinilideno

Los vinilos son productos químicos intermedios y se utilizan principalmente como monómeros en la fabricación de plásticos.

Muchos de ellos se obtienen mediante la adición del compuesto apropiado al acetileno. Como ejemplos de monómeros de vinilo pueden citarse el bromuro de vinilo, el cloruro de vinilo, el fluoruro de vinilo, el acetato de vinilo, los éteres vinílicos y los ésteres vinílicos. Los polímeros son productos de alto peso molecular obtenidos mediante polimerización, un proceso que puede definirse como la combinación de monómeros iguales para producir otro compuesto que contiene los mismos elementos en las mismas proporciones, pero con un peso molecular superior y diferentes características físicas.

Cloruro de vinilo. El cloruro de vinilo (CV) es inflamable y forma una mezcla explosiva con el aire en proporciones de entre un 4 y un 22 % en volumen. Al arder, se descompone en ácido clorhídrico gaseoso, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Penetra fácilmente en el organismo humano a través del sistema respiratorio, desde donde pasa a la circulación sanguínea y de ahí a los distintos órganos y tejidos. También se absorbe a través del sistema digestivo como contaminante de alimentos y bebidas, y por vía percutánea. Sin embargo, estas dos vías de entrada carecen de interés desde el punto de vista de las intoxicaciones de origen profesional.

El CV absorbido se transforma y excreta por diversas vías, dependiendo de la cantidad acumulada. Cuando está presente en altas concentraciones, hasta un 90 % del producto puede eliminarse sin sufrir cambios a través del aire exhalado, junto con pequeñas cantidades de CO₂. El resto sufre biotransformación y se excreta con la orina. Si, por el contrario, se encuentra a bajas concentraciones, la cantidad de monómero exhalado sin modificar es muy pequeña y la proporción reducida a CO₂ representa aproximadamente el 12 %. El resto se transforma. El centro principal del proceso metabólico es el hígado, donde el monómero sufre una serie de procesos oxidativos, catalizados en parte por la alcohol deshidrogenasa y en parte por una catalasa.

La principal ruta metabólica es la microsómica, a través de la cual el CV se oxida para formar óxido de cloroetileno, un epóxido inestable que se transforma espontáneamente en cloroacetaldehído.

Sea cual sea la ruta metabólica seguida, el producto final es siempre cloroacetaldehído, que seguidamente se combina con glutatión y cisteína. Los principales metabolitos excretados en la orina son la hidroxietilcisteína, la carboxietilcisteína (como tal o N-acetilada) y trazas de ácido monocloroacético y ácido tioglicólico. Una pequeña proporción de los metabolitos se excreta junto con la bilis al intestino. *Intoxicación aguda.* En el ser humano, la exposición prolongada a CV produce un estado de intoxicación que puede seguir un curso agudo o crónico. Las concentraciones atmosféricas de alrededor de 100 ppm no son perceptibles, ya que el umbral del olor se sitúa entre 2.000 y 5.000 ppm. Estas altas concentraciones del monómero se perciben por un olor dulzón, no desagradable. La exposición a concentraciones elevadas produce un estado de exaltación, seguido de astenia, sensación de pesadez en las piernas y somnolencia. Las concentraciones de entre 8.000 y 10.000 ppm provocan vértigos; a 16.000 ppm se deterioran el oído y la vista; a 70.000 ppm se experimenta pérdida de consciencia y narcosis y las concentraciones superiores a 120.000 ppm pueden ser fatales para el ser humano.

Efecto carcinógeno. El cloruro de vinilo ha sido clasificado por la IARC dentro del Grupo 1 como carcinógeno humano demostrado y ha sido regulado por numerosas autoridades de todo el mundo como carcinógeno humano conocido. En el hígado puede provocar el desarrollo de un tumor maligno extremadamente raro, conocido como angiosarcoma, hemangioblastoma, hemangioendotelioma maligno o mesenquimoma angiomatoso. El período medio de latencia es de unos 20 años. Evoluciona asintóticamente y sólo se manifiesta en las últimas fases, con síntomas de hepatomegalia, dolor, deterioro del estado general de salud y posiblemente signos de fibrosis hepática concomitante, hipertensión portal, venas esofágicas varicosas, ascitis, hemorragia del tracto digestivo, anemia hipocrómica, colestasis con aumento de la fosfatasa alcalina, hiperbilirrubinemia, aumento del tiempo de retención de BSP (bromosulfaleína), hiperfunción esplénica caracterizada principalmente por trombocitopenia y reticulocitosis y afección de las células hepáticas con disminución de la concentración plasmática de albúmina y fibrinógeno. Los períodos largos de exposición a concentraciones suficientemente altas provocan un síndrome denominado “enfermedad por cloruro de vinilo”. Esta entidad se caracteriza por síntomas neurotóxicos, modificaciones de la microcirculación periférica

(fenómeno de Raynaud), alteraciones cutáneas de tipo esclerodérmico, alteraciones óseas (acrosteolisis), alteraciones del hígado y el bazo (fibrosis hepatoesplénica), síntomas genotóxicos acusados y cáncer. Pueden producirse afecciones cutáneas, como esclerodermia en el dorso de las manos a nivel de las articulaciones metacarpianas y falángicas y en la cara interna de los antebrazos.

Las manos aparecen pálidas, frías, húmedas y sudorosas, por causa del intenso edema. La piel pierde su elasticidad, es difícil de pellizcar y se cubre de pequeñas pápulas, microvesículas y formaciones urticaroides. Estas alteraciones se han observado en pies, cuello, cara y espalda, así como en manos y brazos.

Acrosteolisis. Se trata de una afección esquelética que suele localizarse en las falanges distales de las manos. Se debe a una necrosis aséptica del hueso, de origen isquémico, provocada por una arteriolitis ósea estenosante. Las imágenes radiológicas muestran un proceso de osteolisis con bandas transversales o con estrechamiento de las falanges ungulares.

Alteraciones hepáticas. En todos los casos de intoxicación por CV se observan alteraciones hepáticas, que suelen comenzar con digestiones pesadas, sensación de pesadez en la región epigástrica y meteorismo. El tamaño del hígado está aumentado, pero su consistencia es normal y no aparece dolor en las maniobras de palpación. Las pruebas funcionales hepáticas raramente están alteradas. La hepatomegalia desaparece una vez que cesa la exposición. Las personas expuestas durante períodos de tiempo más largos, es decir, de 2 a 20 años, pueden desarrollar fibrosis hepática, en ocasiones aislada, pero más frecuentemente asociada a esplenomegalia, que puede complicarse con hipertensión portal, varices esofágicas y, como consecuencia, hemorragias del aparato digestivo. La fibrosis hepática y esplénica no se asocia necesariamente con un aumento del tamaño de estos órganos. Las pruebas de laboratorio son poco indicativas, aunque la experiencia ha demostrado la conveniencia de realizar una prueba de BSP (bromosulfaleína), así como la determinación de SGOT (transaminasa glutamicooxalacética en suero) y la SGPT (transaminasa glutamicopirúvica en suero), gamma GT y bilirrubinemia. La única prueba fiable es una laparoscopia con biopsia. La superficie del hígado aparece irregular debido a la presencia de granulaciones y zonas escleróticas. La estructura general del hígado rara vez sufre modificaciones y el parénquima se ve poco afectado, si bien se encuentran células hepáticas con degeneración y necrosis de hepatocitos, siendo evidente un cierto polimorfismo

de los núcleos celulares. Las alteraciones mesenquimatosas son más específicas, ya que siempre se observa fibrosis de la cápsula de Glisson que se extiende por los espacios portales y penetra en los intersticios de las células hepáticas. Cuando el bazo resulta afectado, se observa fibrosis capsular con hiperplasia folicular, dilatación de los sinusoides y congestión de la pulparoja. No es raro encontrar una ascitis discreta. Tras retirar al sujeto de la exposición, la hepatomegalia y la esplenomegalia disminuyen, las alteraciones del parénquima hepático remiten y los cambios mesenquimáticos pueden continuar su progresión o pueden ceder en su evolución.

Bromuro de vinilo. Aunque la toxicidad aguda del bromuro de vinilo es menor que la de muchos otros productos químicos de este grupo, la IARC lo considera un probable carcinógeno humano (Grupo 2A) y debe manipularse como un posible carcinógeno en el lugar de trabajo. En el conejo, el bromuro de vinilo en estado líquido produce una irritación moderada de los ojos, pero no de la piel. Las ratas, conejos y monos expuestos a concentraciones de 250 ó 500 ppm durante 6 horas diarias, 5 días a la semana durante 6 meses, no presentaron ningún tipo de alteración. Se ha realizado un experimento con ratas a las que se expuso durante un año a concentraciones de 1.250 ó 250 ppm (6 horas diarias, 5 días a la semana). Al cabo de ese tipo se había producido un aumento de la mortalidad, pérdida de peso, angiosarcoma de hígado y carcinomas de las glándulas de Zimbal. Se ha comprobado que esta sustancia es mutágena para las colonias de *Salmonella typhimurium* con y sin activación metabólica.

Cloruro de vinilideno (CVD). Si el cloruro de vinilideno puro se mantiene entre -40 °C y +25 °C en presencia de aire o de oxígeno, se forma un peróxido muy explosivo cuya estructura no se ha determinado, que puede detonar por la acción de cualquier estímulo mecánico ligero o por la acción del calor. Los vapores producen una irritación moderada de los ojos y la exposición a altas concentraciones provoca efectos similares a los de una borrachera, que pueden progresar hasta producirse inconsciencia. En estado líquido, este producto es irritante para la piel, acción ésta que, en parte, puede deberse al inhibidor fenólico que se añade para evitar su polimerización incontrolada y su explosión. También exhibe propiedades sensibilizantes. El potencial carcinógeno del CVD en animales sigue siendo objeto de debate. La IARC no lo ha clasificado como carcinógeno posible o probable (en 1996), pero el NIOSH de Estados Unidos ha recomendado el mismo límite de exposición para el CVD que para el cloruro de vinilo monómero, esto es, 1 ppm. Hasta la fecha, no se han realizado estudios epidemiológicos

importantes respecto a la carcinogenicidad para las personas de los copolímeros de cloruro de vinilo-CVD. El CVD presenta una actividad mutágena que varía según su concentración. Cuando la concentración es baja, se ha visto que dicha actividad es mayor que la del cloruro de vinilo monómero.

Sin embargo, parece ser que disminuye cuando se trata de dosis elevadas, probablemente como resultado de la inhibición de las enzimas microsómicas responsables de su activación metabólica.

Hidrocarburos alifáticos bromados

Bromoformo. La mayor parte de la experiencia que se tiene de casos de intoxicación en personas procede de la administración oral de bromoformo y resulta difícil determinar la importancia de su toxicidad en aplicaciones industriales. El bromoformo se ha utilizado como sedante y, sobre todo, como antitusígeno, durante muchos años. La ingestión de dosis superiores a las terapéuticas (entre 0,1 y 0,5 g) provoca estupor, hipotensión y coma. Además del efecto narcótico, también tiene una potente acción irritante y lacrimógena. La exposición a los vapores de bromoformo provoca una intensa irritación de las vías respiratorias, lagrimeo y sialorrea. El bromoformo puede causar lesiones hepáticas y renales y, en ratones, provoca tumores tras su aplicación intraperitoneal. Se absorbe también a través de la piel. La exposición a concentraciones de hasta 100 mg/m³ (10 ppm) produce cefalea, mareo, dolor en la región del hígado y alteración de la función hepática.

El *dibromuro de etileno* (dibromoetano) es un producto químico potencialmente peligroso con una dosis letal mínima estimada para el ser humano de 50 mg/kg. De hecho, la ingestión de 4,5 cm³ de Dow-fume W-85, que contiene un 83 % de dibromoetano, provocó la muerte de una mujer adulta de 55 kg de peso.

La IARC lo ha clasificado en el Grupo 2A como carcinógeno humano probable.

Los síntomas que provoca este producto químico dependen de que se haya producido contacto directo con la piel, inhalación de vapores o ingestión oral. Como su forma líquida es un potente irritante, el contacto prolongado con la piel produce enrojecimiento, edema y vesículas, que pueden ulcerarse. La inhalación de vapores provoca lesiones en el aparato respiratorio, con congestión pulmonar, edema y neumonía. También se produce depresión del sistema nervioso

central, con sopor. En caso de muerte, ésta suele producirse por fracaso cardiopulmonar. La ingestión oral de este compuesto produce lesiones hepáticas y, aunque de menor importancia, renales, tanto en animales de experimentación como en seres humanos. En estos casos, la muerte suele deberse a lesiones hepáticas extensas. Otros síntomas que se observan tras la ingestión o inhalación de dibromuro de etileno son excitación, cefalea, zumbido de oídos, debilidad generalizada, pulso débil y vómitos intensos y prolongados. La administración oral del dibromoetano a través de una sonda gástrica provocó carcinomas de células escamosas en el cardias de ratas y ratones, cánceres de pulmón en ratones, hemangiosarcomas esplénicos en ratas macho y cáncer de hígado en ratas hembra. No se han descrito casos en el hombre ni se han realizado estudios epidemiológicos en seres humanos. Recientemente se ha detectado en ratas una grave interacción tóxica entre dibromoetano inhalado y disulfiram administrado por vía oral, que produce tasas de mortalidad muy altas con una elevada incidencia de tumores, como hemangiosarcomas hepáticos, esplénicos y renales. Por ello, el NIOSH de Estados Unidos recomienda que (a) los trabajadores no se expongan al dibromoetano cuando estén recibiendo tratamiento con sulfiram (Antabuseo Rosulfiram utilizados para ayudar a abandonar el consumo de alcohol) y (b) ningún trabajador se exponga al mismo tiempo al dibromoetano y al disulfiram (este último se utiliza también en la industria como acelerador en la fabricación de caucho, como fungicida y como insecticida).

Afortunadamente, la aplicación de dibromoetano como fumigante de tierras se realiza normalmente bajo la superficie del suelo utilizando un inyector, lo que permite reducir al mínimo el riesgo de contacto directo con el líquido y los vapores. Asimismo, la baja presión de vapor de este producto reduce la posibilidad de inhalación de grandes cantidades del mismo. El olor del dibromoetano puede detectarse a una concentración de 10 ppm. Con este producto deben adoptarse las mismas precauciones ya indicadas en este capítulo que para la manipulación de cualquier sustancia cancerígena. El uso de prendas protectoras y guantes de nylon-neopreno ayuda a evitar el contacto con la piel y una posible absorción. En caso de contacto directo con la superficie cutánea, se retirará la ropa que cubra la zona y se procederá a lavar la piel con agua abundante y jabón. Cuanto antes se realice esta operación, más se evitará la aparición de lesiones cutáneas. En caso de contaminación de los ojos por el producto líquido o por sus vapores, se irrigarán estos con agua abundante. La ingestión de dibromoetano produce graves lesiones hepáticas, razón por la cual es imprescindible realizar un vaciado urgente de estómago y un lavado gástrico minucioso. El tratamiento para prevenir lesiones hepáticas debe consistir en

procedimientos tan tradicionales como una dieta alta en hidratos de carbono con suplementos vitamínicos, especialmente de vitaminas B, C y K.

El *bromuro de metilo* es uno de los haluros orgánicos más tóxicos y no despiden un olor que avise de su presencia. En la atmósfera se dispersa lentamente. Por todo ello, es uno de los compuestos más peligrosos que se utilizan en la industria. Se introduce en el organismo sobre todo por inhalación, siendo el grado de absorción

percutánea probablemente insignificante. A menos que se produzca una narcosis severa, los síntomas suelen tardar horas o incluso días en manifestarse. Se han producido algunas muertes relacionadas con la fumigación de este producto, que plantea un problema especial por su uso continuado. Otros casos mortales han ocurrido por fugas en las plantas refrigeradoras o por el uso de extintores de incendios. El contacto prolongado de la piel con ropa contaminada por salpicaduras puede producir quemaduras de segundo grado.

El bromuro de metilo daña el cerebro, el corazón, los pulmones, el bazo, el hígado, las glándulas suprarrenales y los riñones. En estos órganos se han encontrado alcohol metílico, formaldehído y bromuro en cantidades que oscilan entre 32 y 62 mg por cada 300 g de tejido. El cerebro puede sufrir una congestión aguda, con edema y degeneración cortical. La congestión pulmonar puede no existir o ser extrema. La degeneración de los túbulos renales produce uremia. Las hemorragias pulmonares y cerebrales indican lesiones en el sistema vascular. Parece ser que el bromuro de metilo se hidroliza en el organismo, formando bromuro inorgánico. Los efectos sistémicos de esta sustancia pueden ocasionar una forma inusual de bromidismo con penetración intracelular del bromo. En estos casos, las lesiones pulmonares son menos graves.

Se ha observado una dermatitis acneiforme en personas sometidas a exposiciones reiteradas. Se han descrito también efectos acumulativos, casi siempre con alteraciones del sistema nervioso central, tras la inhalación repetida de concentraciones moderadas de bromuro de metilo.

Medidas de seguridad y salud

Ante todo, y siempre que sea posible, debe evitarse el uso de los compuestos más peligrosos de este grupo, sustituyéndolos por sustancias menos nocivas. Por ejemplo, siempre que sea posible debe sustituirse el bromometano por sustancias de menor riesgo en refrigeradores y extintores de incendios. Además de las precauciones de salud y seguridad

aplicables a los productos químicos volátiles de toxicidad similar, se recomiendan también las siguientes:

Incendio y explosión. Solamente no son inflamables ni explosivos los miembros más altos de las series de hidrocarburos alifáticos halogenados. Algunos de ellos son incombustibles y se utilizan como agentes extintores de incendios. Por el contrario, los miembros más bajos de las series son inflamables y, en algunos casos, altamente inflamables (por ejemplo, el 2-cloropropano) y forman mezclas explosivas con el aire. Además, algunos miembros insaturados (p. ej., el dicloroetileno) pueden formar peróxidos altamente explosivos incluso a temperaturas muy bajas. La descomposición térmica de los hidrocarburos halogenados puede formar compuestos tóxicos peligrosos. Las medidas preventivas de carácter técnico e higiénico deben complementarse con exploraciones médicas periódicas y pruebas de laboratorio dirigidas a detectar lesiones en los órganos afectados, sobre todo en el hígado y los riñones.

HIDROCARBUROS ALIFATICOS INSATURADOS

Usos

Los hidrocarburos insaturados tienen importancia comercial como materias primas para la fabricación de numerosos productos químicos y polímeros, como plásticos, caucho y resinas. La vasta producción de la industria petroquímica se basa en la reactividad de estas sustancias.

El 1-*penteno* es un agente de mezclado para combustibles de alto octanaje de motores, y el *isopreno* se utiliza en la fabricación de caucho sintético y caucho butílico. El *propileno* se utiliza también en la fabricación de caucho sintético y en forma polimerizada como plástico de polipropileno. El *isobutileno* es un antioxidante en las industrias de alimentos y conservas. El 1-*hexeno* se utiliza en la síntesis de aromas, perfumes y colorantes. El *etileno*, el *cis-2-buteno* y el *trans-2-buteno* son disolventes, y el *propadieno* es un compuesto de gas combustible utilizado en metalistería. El principal uso industrial del etileno es como ingrediente de materias primas que a su vez se utilizan para fabricar una gran variedad de sustancias y productos. El etileno se utiliza también en la soldadura oxietilénica, el cortado de metales y en el gas mostaza. Actúa como refrigerante, anestésico por inhalación, acelerador del crecimiento de las plantas y madurador de frutas. No obstante, las cantidades utilizadas con estos fines son más pequeñas

que las utilizadas en la fabricación de otros productos químicos. Uno de los principales productos químicos derivados del etileno es el polietileno, obtenido mediante polimerización catalítica del etileno y utilizado en la fabricación de diversos productos de plástico moldeados. El óxido de etileno se produce mediante oxidación catalítica y a su vez se utiliza para preparar etilen glicol y etanolaminas. La mayor parte del alcohol etílico industrial se obtiene por hidratación de etileno. Su cloración produce monómero de cloruro de vinilo y 1,2-dicloroetano. Cuando reacciona con benceno, se obtiene monómero de estireno. También puede obtenerse acetaldehído por oxidación de etileno.

Riesgos para la salud

Como sus homólogos saturados, los hidrocarburos alifáticos insaturados inferiores u olefinas son asfixiantes simples, pero a medida que aumenta el peso molecular, las propiedades narcóticas e irritantes son más pronunciadas que las de sus análogos saturados. Por ejemplo, el etileno, el propileno y el amileno se han utilizado como anestésicos en cirugía, pero requieren grandes concentraciones (60 %) y por ello se administran con oxígeno. Las diolefinas son más narcóticas que las monoolefinas y también más irritantes para las mucosas y los ojos.

1,3-Butadieno. Los riesgos físicoquímicos del butadieno se deben a su alta inflamabilidad y extrema reactividad. Puesto que fácilmente se alcanza una mezcla inflamable con concentraciones de entre 2 y 11,5 % de butadieno en el aire, esta sustancia conlleva peligro de incendio y explosión cuando se expone a calor, chispas, llamas y oxidantes. Cuando se expone a aire u oxígeno, el butadieno forma rápidamente peróxidos, que pueden experimentar combustión espontánea. A pesar de que durante muchos años la experiencia de los trabajadores expuestos a butadieno y los experimentos con seres humanos y animales parecían indicar que este compuesto es poco tóxico, estudios epidemiológicos han demostrado que el 1,3-butadieno es un probable cancerígeno humano (Grupo 2A de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC)). La exposición a concentraciones muy altas de gas produce efectos irritantes y anestésicos. Las personas pueden tolerar concentraciones de hasta 8.000 ppm durante 8 horas sin más efectos que una leve irritación de ojos, nariz y garganta. Se ha observado que la exposición a butadieno líquido y a su gas de evaporación provoca dermatitis (y también quemaduras por congelación). Algunos casos de inhalación de concentraciones excesivas que pueden producir anestesia, parálisis respiratoria y muerte se han debido a

derrames y fugas de recipientes a presión, válvulas y bombas en zonas con una ventilación inadecuada. El butadieno se comenta con más detalle en el Capítulo *Industria del caucho* de este volumen.

El isopreno, que no presenta toxicidad salvo a concentraciones muy altas, se considera también ahora un posible cancerígeno humano. Grupo 2B de la IARC.

Etileno. El principal riesgo del etileno es el de incendio y explosión. El etileno explota espontáneamente por efecto de la luz del sol en presencia de cloro y puede reaccionar vigorosamente con tetracloruro de carbono, dióxido de nitrógeno, cloruro de aluminio y sustancias oxidantes en general. Las mezclas etilenoaire arden cuando se exponen a cualquier fuente de ignición, como chispas estáticas, de fricción o eléctricas, llamas abiertas o calor excesivo. Algunas mezclas confinadas explotan violentamente como consecuencia de estas fuentes de ignición. A menudo el etileno se manipula y transporta en forma de líquido a presión. El contacto de la piel con el líquido puede causar una “quemadura por frío”. En los procesos de fabricación existen pocas posibilidades de exposición a etileno, ya que tienen lugar en sistemas cerrados. La exposición puede ocurrir como resultado de fugas, derrames u otros accidentes que hacen que se libere gas al aire. Los tanques y recipientes vacíos que han contenido etileno constituyen otra fuente potencial de exposición.

En el aire, el etileno actúa principalmente como asfixiante. Las concentraciones de etileno necesarias para producir un efecto fisiológico marcado reducen el contenido de oxígeno a un nivel muy bajo e incompatible con la vida. Por ejemplo, el aire que contiene un 50 % de etileno contendrá solamente un 10 % de oxígeno.

Cuando el aire contiene aproximadamente un 11 % de oxígeno, se produce pérdida de conciencia y si dicho porcentaje desciende todavía más, se produce la muerte en el acto. No existen pruebas que indiquen que la exposición prolongada a bajas concentraciones de etileno cause efectos crónicos. La exposición prolongada a altas concentraciones puede causar efectos permanentes debido a la privación de oxígeno. El etileno exhibe una toxicidad sistémica muy baja. Cuando se utiliza como anestésico en cirugía, se administra siempre con oxígeno. En dichos casos, su acción es la de un anestésico simple con una acción rápida y una recuperación igualmente rápida. La inhalación prolongada de aproximadamente una concentración de 85 % en oxígeno es ligeramente tóxica, provocando un descenso lento de la tensión arterial; la concentración de etileno del 94 % en oxígeno es letal.

Medidas de seguridad y salud

Con respecto a los productos químicos sin carcinogenicidad ni efectos tóxicos similares, debe mantenerse una ventilación adecuada para prevenir la exposición de los trabajadores a una concentración que supere los límites de seguridad recomendados.

Los trabajadores deben saber que algunos síntomas, como escozor de ojos, irritación respiratoria, cefalea y vértigo, pueden indicar una concentración en la atmósfera poco segura. Las bombonas de butadieno deben almacenarse boca arriba en un lugar fresco, seco y bien ventilado, alejado de fuentes de calor, llamas abiertas y chispas.

El área de almacenamiento debe estar separada de fuentes de oxígeno, cloro, otros materiales oxidantes y gases y materiales combustibles. Puesto que el butadieno es más pesado que el aire y el gas procedente de fugas se acumula en las zonas bajas, debe evitarse el almacenamiento en fosas y sótanos. Los contenedores de butadieno deben estar debidamente etiquetados, indicando claramente que se trata de un gas explosivo. Las bombonas deben estar construidas para resistir la presión y evitar las fugas y no deben sufrir golpes durante su manipulación. Estas bombonas están habitualmente provistas de una válvula de seguridad.

Las bombonas no deben someterse a temperaturas superiores a 55 °C. Para detectar posibles fugas, lo mejor es empapar la zona sospechosa con una solución jabonosa, de manera que en caso de existir algún escape de gas, se formen pompas visibles; en ningún caso se utilizarán cerillas o llamas para detectar fugas. Con respecto a los posibles o probables cancerígenos, deben adoptarse todas las precauciones adecuadas y necesarias para su manipulación.

Tanto en su fabricación como en su uso, el butadieno debe manipularse en un sistema cerrado y correctamente diseñado. Generalmente se le añaden antioxidantes e inhibidores (como *tert*-butilcatecol en una proporción aproximada del 0,02 % en peso) para prevenir la formación de polímeros y peróxidos peligrosos.

La extinción de los incendios de butadieno es difícil y peligrosa. Los pequeños incendios pueden apagarse con dióxido de carbono o extintores de incendios con productos químicos en

polvo. Los grandes incendios y las áreas adyacentes deben rociarse con agua. En la medida de lo posible, los incendios deben controlarse cerrando todas las fuentes de combustible. El butadieno no requiere la realización de exámenes médicos previos al empleo ni reconocimientos periódicos de los trabajadores que lo manipulan.

Los miembros inferiores de la serie (etileno, propileno y butileno) son gases a temperatura ambiente y muy inflamables o explosivos cuando se mezclan con aire u oxígeno. El resto de los miembros son líquidos volátiles e inflamables que pueden dar lugar a concentraciones explosivas de vapor en el aire a las temperaturas normales de trabajo. En contacto con el aire, las diolefinas pueden formar peróxidos orgánicos que, si se concentran o calientan, pueden detonar violentamente. La mayor parte de las diolefinas producidas comercialmente están en general inhibidas contra la formación de peróxidos. Debe evitarse el contacto con toda fuente de ignición. Las instalaciones y equipos eléctricos deben ser resistentes a las explosiones. Todas las salas o áreas en la que se manipule etileno deben estar debidamente ventiladas. No debe permitirse la entrada a espacios confinados que hayan contenido etileno hasta que los análisis de gases indiquen que son seguros y una persona autorizada haya firmado un permiso de acceso. Las personas que puedan verse expuestas a etileno deben recibir una instrucción adecuada y conocer los métodos para una manipulación segura y adecuada. Debe prestarse atención al peligro de incendio, a las “quemaduras por frío” debido al contacto con el material líquido, al uso de equipos de protección individual y a las medidas de emergencia.

