



MANUAL DE BIOSEGURIDAD EN EL LABORATORIO

Tercera edición



Organización Mundial de la Salud

MANUAL DE BIOSEGURIDAD EN EL LABORATORIO TERCERA EDICIÓN
OMS

Durante los más de 20 años transcurridos desde su primera publicación en 1983, el *Manual de bioseguridad en el laboratorio* ha proporcionado orientación práctica sobre las técnicas de bioseguridad a los laboratorios de todos los niveles. Las técnicas microbiológicas apropiadas y el uso correcto del equipo de bioseguridad por personal bien adiestrado siguen siendo los pilares fundamentales de la bioseguridad en el laboratorio. Sin embargo, la globalización, los importantes avances tecnológicos, la aparición de nuevas enfermedades y las graves amenazas que suponen el uso indebido y la liberación intencionados de agentes microbiológicos y toxinas han hecho necesario revisar los procedimientos conocidos. En consecuencia, para esta nueva edición el manual ha sido profundamente revisado y ampliado.

El nuevo manual abarca la evaluación de riesgos y el uso de la tecnología del ADN recombinante en condiciones de seguridad y ofrece directrices para la puesta en servicio y la certificación de los laboratorios. Se presentan conceptos de protección biológica y se reflejan las normas más recientes para el transporte de sustancias infecciosas. También se han incorporado materiales sobre la seguridad en los laboratorios asistenciales que han sido publicados previamente por la OMS en otros documentos.

Es de esperar que el manual siga sirviendo de estímulo para que los países implanten programas de seguridad biológica y códigos de prácticas nacionales para la manipulación sin riesgo de material potencialmente infeccioso.

ISBN 92 4 354650 3



9 789243 546506

MANUAL DE BIOSEGURIDAD EN EL LABORATORIO

Tercera Edición



ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

Ginebra
2005

Catalogación por la Biblioteca de la OMS

Organización Mundial de la Salud.

Manual de bioseguridad en el laboratorio. – 3ª ed.

1.Contención de riesgos biológicos 2.Laboratorios – normas
3.Infección de laboratorio – prevención y control 4.Manuales I.Título.

ISBN 92 4 354650 3

(Clasificación LC/NLM: QY 25)

Esta publicación ha contado con el apoyo de la Donación/Acuerdo de Cooperación N° U50/CCU012445-08 de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC), Atlanta, GA (EE.UU.). Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no representa necesariamente la opinión oficial de los CDC.

© **Organización Mundial de la Salud, 2005**

Se reservan todos los derechos. Las publicaciones de la Organización Mundial de la Salud pueden solicitarse a Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza (tel.: +41 22 791 2476; fax: +41 22 791 4857; correo electrónico: bookorders@who.int). Las solicitudes de autorización para reproducir o traducir las publicaciones de la OMS – ya sea para la venta o para la distribución sin fines comerciales – deben dirigirse a Ediciones de la OMS, a la dirección precitada (fax: +41 22 791 4806; correo electrónico: permissions@who.int).

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización Mundial de la Salud, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites. Las líneas discontinuas en los mapas representan de manera aproximada fronteras respecto de las cuales puede que no haya pleno acuerdo.

La mención de determinadas sociedades mercantiles o de nombres comerciales de ciertos productos no implica que la Organización Mundial de la Salud los apruebe o recomiende con preferencia a otros análogos. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados llevan letra inicial mayúscula.

La Organización Mundial de la Salud ha adoptado todas las precauciones razonables para verificar la información que figura en la presente publicación, no obstante lo cual, el material publicado se distribuye sin garantía de ningún tipo, ni explícita ni implícita. El lector es responsable de la interpretación y el uso que haga de ese material, y en ningún caso la Organización Mundial de la Salud podrá ser considerada responsable de daño alguno causado por su utilización.

Diseño: minimum graphics

Impreso en Malta

Índice

Prefacio	viii
Agradecimientos	x
1. Principios generales	1
Introducción	1
PARTE I Directrices en materia de bioseguridad	5
2. Evaluación del riesgo microbiológico	7
Muestras para las que se dispone de información limitada	8
Evaluación de riesgos y microorganismos genéticamente modificados	8
3. Laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2	9
Código de prácticas	9
Diseño e instalaciones del laboratorio	12
Material de laboratorio	15
Vigilancia médica y sanitaria	16
Capacitación	17
Manipulación de desechos	18
Seguridad química, eléctrica y radiológica, protección contra incendios y material de seguridad	20
4. El laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3	21
Código de prácticas	21
Diseño e instalaciones del laboratorio	22
Material de laboratorio	23
Vigilancia médica y sanitaria	24
5. El laboratorio de contención máxima – nivel de bioseguridad 4	26
Código de prácticas	26
Diseño e instalaciones del laboratorio	27
6. Animalarios	30
Animalarios – nivel de bioseguridad 1	31
Animalarios – nivel de bioseguridad 2	31

Animalarios – nivel de bioseguridad 3	32
Animalarios – nivel de bioseguridad 4	33
Invertebrados	34
7. Directrices para la puesta en servicio de laboratorios e instalaciones	36
8. Directrices para la certificación de laboratorios e instalaciones	39
PARTE II Bioprotección en el laboratorio	47
9. Conceptos de bioprotección en el laboratorio	49
PARTE III Equipo de laboratorio	53
10. Cámaras de seguridad biológica	55
Cámaras de seguridad biológica de clase I	56
Cámaras de seguridad biológica de clase II	57
Cámaras de seguridad biológica de clase III	60
Conexiones de aire de las cámaras de seguridad biológica	60
Elección de una cámara de seguridad biológica	62
Uso de las cámaras de seguridad biológica en el laboratorio	62
11. Equipo de seguridad	66
Cámaras aislantes de material flexible y presión negativa	66
Dispositivos de pipeteo	68
Homogeneizadores, agitadores, mezcladores y desintegradores ultrasónicos	69
Asas desechables	69
Microincineradores	69
Ropas y equipo de protección personal	70
PARTE IV Técnicas microbiológicas apropiadas	73
12. Técnicas de laboratorio	75
Manipulación segura de muestras en el laboratorio	75
Uso de pipetas y dispositivos de pipeteo	76
Técnicas para evitar la dispersión de material infeccioso	76
Uso de las cámaras de seguridad biológica	77
Técnicas para evitar la ingestión de material infeccioso y su contacto con la piel y los ojos	77
Técnicas para evitar la inyección de material infeccioso	78
Separación de suero	78
Uso de las centrifugadoras	78
Uso de homogeneizadores, agitadores, mezcladores y desintegradores ultrasónicos	79

Uso de trituradores de tejidos	80
Mantenimiento y uso de refrigeradores y congeladores	80
Técnicas para abrir ampollas que contengan material infeccioso liofilizado	80
Almacenamiento de ampollas que contengan material infeccioso	81
Precauciones normalizadas en relación con la sangre y otros líquidos corporales, tejidos y excreciones	81
Precauciones con materiales que puedan contener priones	83
13. Planes de contingencia y procedimientos de emergencia	85
Plan de contingencia	85
Procedimientos de emergencia para laboratorios de microbiología	86
14. Desinfección y esterilización	89
Definiciones	89
Limpieza del material de laboratorio	90
Germicidas químicos	90
Descontaminación de espacios y superficies	96
Descontaminación de cámaras de seguridad biológica	97
Lavado y descontaminación de las manos	98
Desinfección y esterilización por calor	98
Incineración	101
Eliminación de desechos	101
15. Introducción al transporte de sustancias infecciosas	102
Reglamentación internacional en materia de transportes	102
El sistema básico de embalaje/envasado triple	103
Procedimiento de limpieza de derrames	103
PARTE V Introducción a la biotecnología	107
16. Bioseguridad y tecnología del ADN recombinante	109
Consideraciones de bioseguridad en relación con los sistemas de expresión biológica	110
Consideraciones de bioseguridad en relación con los vectores de expresión	110
Vectores víricos para la transferencia de genes	110
Animales transgénicos y con genes inactivados (<i>knock-out</i>)	110
Plantas transgénicas	111
Evaluación de riesgos en relación con los organismos genéticamente modificados	111
Otras consideraciones	112

PARTE VI Seguridad química y eléctrica y protección contra incendios	115
17. Sustancias químicas peligrosas	117
Vías de exposición	117
Almacenamiento de sustancias químicas	117
Normas generales en relación con las incompatibilidades químicas	117
Efectos tóxicos de las sustancias químicas	117
Sustancias químicas explosivas	118
Derrame de sustancias químicas	118
Gases comprimidos y licuados	120
18. Otros peligros en el laboratorio	121
Peligro de incendio	121
Peligros eléctricos	122
Ruido	122
Radiaciones ionizantes	123
PARTE VII Organización y formación en materia de seguridad	127
19. El funcionario de bioseguridad y el comité de bioseguridad	129
Funcionario de bioseguridad	129
Comité de bioseguridad	130
20. Reglas de seguridad para el personal de apoyo	132
Mecánicos y personal de mantenimiento del edificio	132
Personal de limpieza	132
21. Programas de capacitación	133
PARTE VIII Lista de comprobación de la seguridad	135
22 Lista de comprobación de la seguridad	137
Locales del laboratorio	137
Locales de almacenamiento	138
Instalaciones de saneamiento y destinadas al personal	138
Calefacción y ventilación	138
Alumbrado	138
Servicios	139
Bioprotección en el laboratorio	139
Prevención de incendios	139
Almacenamiento de líquidos inflamables	140
Gases comprimidos y licuados	141
Peligros eléctricos	141

ÍNDICE

Protección personal	141
Salud y seguridad del personal	142
Material de laboratorio	142
Material infeccioso	143
Sustancias químicas y radiactivas	143
PARTE IX Referencias, anexos e índice alfabético	145
Referencias	147
ANEXO 1 Primeros auxilios	151
ANEXO 2 Inmunización del personal	152
ANEXO 3 Centros Colaboradores de la OMS en materia de bioseguridad	153
ANEXO 4 Seguridad del material	154
ANEXO 5 Sustancias químicas: peligros y precauciones	158
Índice alfabético	202

Prefacio

Hace tiempo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoce que la seguridad y, en particular, la seguridad biológica son importantes cuestiones de interés internacional. La OMS publicó la primera edición del *Manual de bioseguridad en el laboratorio* en 1983. En ella se alentaba a los países a aceptar y aplicar conceptos básicos en materia de seguridad biológica y a elaborar códigos nacionales de prácticas para la manipulación sin riesgo de microorganismos patógenos en los laboratorios que se encuentran dentro de sus fronteras nacionales. Desde 1983, muchos países han seguido la orientación especializada que se ofrece en el manual para elaborar esos códigos de prácticas. En 1993 se publicó una segunda edición del manual.

En esta tercera edición del manual, la OMS sigue proporcionando liderazgo internacional en materia de bioseguridad al abordar los aspectos de la seguridad y la protección biológica que se plantean en el nuevo milenio. A lo largo de toda la publicación se subraya la importancia de la responsabilidad personal. Se han incluido nuevos capítulos que se ocupan de la evaluación de riesgos, el uso de las tecnologías del ADN recombinante en condiciones de seguridad y el transporte de material infeccioso. Los recientes acontecimientos mundiales han puesto de manifiesto la existencia de nuevas amenazas para la salud pública derivadas de la liberación o el uso indebido deliberados de agentes y toxinas microbianos. Por consiguiente, en la presente edición del manual también se introduce el concepto de bioprotección, es decir, la protección del material microbiológico contra el robo, la pérdida o la desviación para evitar que esos agentes se puedan utilizar de forma indebida con el fin de atentar contra la salud pública. Esta edición también contiene información sobre seguridad tomada de *Safety in health-care laboratories (1)*, que publicó la OMS en 1997.

La tercera edición del *Manual de bioseguridad en el laboratorio* de la OMS será de utilidad como referencia y orientación para los países que acepten el reto de elaborar y establecer códigos nacionales de prácticas con miras a proteger esos bienes micro-

biológicos y al mismo tiempo garantizar su disponibilidad para fines clínicos, de investigación y epidemiológicos.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Asamoah-Baah', with a long horizontal stroke extending to the right.

Dr. A. Asamoah-Baah
Subdirector General
Enfermedades Transmisibles
Organización Mundial de la Salud
Ginebra (Suiza)

Agradecimientos

La preparación de la presente edición del *Manual de bioseguridad en el laboratorio* ha sido posible gracias a las contribuciones de las siguientes personas, a las que se reconoce con gratitud la aportación de sus conocimientos especializados:

- Dr. W. Emmett Barkley. Instituto Médico Howard Hughes, Chevy Chase, MD (EE.UU.).
- Dr. Murray L. Cohen (jubilado). Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Atlanta, GA (EE.UU.).
- Dra. Ingegerd Kallings. Instituto Sueco de Lucha contra las Enfermedades Infecciosas, Estocolmo (Suecia).
- Sra. Mary Ellen Kennedy. Consultora especializada en bioseguridad, Ashton, Ontario (Canadá).
- Sra. Margery Kennett (jubilada). Laboratorio de Referencia de Victoria para las Enfermedades Infecciosas, North Melbourne (Australia).
- Dr. Richard Knudsen. Oficina de Salud y Seguridad, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Atlanta, GA (EE.UU.).
- Dra. Nicoletta Previsani. Programa de Bioseguridad, Organización Mundial de la Salud, Ginebra (Suiza).
- Dr. Jonathan Richmond (jubilado). Oficina de Salud y Seguridad, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Atlanta, GA (EE.UU.).
- Dr. Syed A. Sattar. Facultad de Medicina, Universidad de Ottawa, Ottawa, Ontario (Canadá).
- Dra. Deborah E. Wilson, División de Salud y Seguridad Ocupacional, Institutos Nacionales de la Salud, Washington D.C. (EE.UU.).
- Dr. Riccardo Wittek, Instituto de Biología Animal, Universidad de Lausana, Lausana (Suiza).

La OMS expresa asimismo su gratitud a las siguientes personas por su asistencia:

- Sra. Maureen Best, Oficina de Seguridad en el Laboratorio, Health Canada, Ottawa (Canadá).
- Dr. Mike Catton, Laboratorio de Referencia de Victoria para las Enfermedades Infecciosas, North Melbourne (Australia).

AGRADECIMIENTOS

Dra. Shanna Nesby, Oficina de Salud y Seguridad, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, Atlanta, GA (EE.UU.).

Dr. Stefan Wagener, Centro de Ciencias de la Salud Humana y Animal del Canadá, Winnipeg (Canadá).

Los redactores y revisores desean reconocer también las aportaciones originales de los numerosos profesionales cuya labor quedó recogida en las ediciones primera y segunda del *Manual de bioseguridad en el laboratorio* y en *Safety in health-care laboratories (1)*, publicada por la OMS en 1997.

1. Principios generales

Introducción

A lo largo de todo este manual, se hace referencia a los peligros relativos que entrañan los microorganismos infecciosos, clasificados por grupos de riesgo (grupos de riesgo 1, 2, 3 y 4 (OMS)). Esta **clasificación por grupos de riesgo se utilizará exclusivamente para el trabajo de laboratorio**. En el cuadro 1 se describen esos grupos de riesgo.

Cuadro 1. Clasificación de los microorganismos infecciosos por grupos de riesgo

Grupo de riesgo 1 (*riesgo individual y poblacional escaso o nulo*)

Microorganismos que tienen pocas probabilidades de provocar enfermedades en el ser humano o los animales.

Grupo de riesgo 2 (*riesgo individual moderado, riesgo poblacional bajo*)

Agentes patógenos que pueden provocar enfermedades humanas o animales pero que tienen pocas probabilidades de entrañar un riesgo grave para el personal de laboratorio, la población, el ganado o el medio ambiente. La exposición en el laboratorio puede provocar una infección grave, pero existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces y el riesgo de propagación es limitado.

Grupo de riesgo 3 (*riesgo individual elevado, riesgo poblacional bajo*)

Agentes patógenos que suelen provocar enfermedades humanas o animales graves, pero que de ordinario no se propagan de un individuo a otro. Existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces.

Grupo de riesgo 4 (*riesgo individual y poblacional elevado*)

Agentes patógenos que suelen provocar enfermedades graves en el ser humano o los animales y que se transmiten fácilmente de un individuo a otro, directa o indirectamente. Normalmente no existen medidas preventivas y terapéuticas eficaces.

Los laboratorios se clasifican como sigue: laboratorio básico – nivel de bioseguridad 1; laboratorio básico – nivel de bioseguridad 2; laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3, y laboratorio de contención máxima – nivel de bioseguridad 4. Las designaciones del nivel de bioseguridad se basan en una combinación de las características de diseño, construcción, medios de contención, equipo, prácticas y procedimientos de operación necesarios para trabajar con agentes patógenos de los distintos grupos de riesgo. En el cuadro 2 se relacionan, **no se equiparan**, los grupos de riesgo

Cuadro 2. Relación de los grupos de riesgo con los niveles de bioseguridad, las prácticas y el equipo

GRUPO DE RIESGO	NIVEL DE BIOSEGURIDAD	TIPO DE LABORATORIO	PRÁCTICAS DE LABORATORIO	EQUIPO DE SEGURIDAD
1	Básico Nivel 1	Enseñanza básica, investigación	TMA	Ninguno; trabajo en mesa de laboratorio al descubierto
2	Básico Nivel 2	Servicios de atención primaria; diagnóstico, investigación	TMA y ropa protectora; señal de riesgo biológico	Trabajo en mesa al descubierto y CSB para posibles aerosoles
3	Contención Nivel 3	Diagnóstico especial, investigación	Prácticas de nivel 2 más ropa especial, acceso controlado y flujo direccional del aire	CSB además de otros medios de contención primaria para todas las actividades
4	Contención máxima Nivel 4	Unidades de patógenos peligrosos	Prácticas de nivel 3 más cámara de entrada con cierre hermético, salida con ducha y eliminación especial de residuos	CSB de clase III o trajes presurizados junto con CSB de clase II, autoclave de doble puerta (a través de la pared), aire filtrado

TMA: técnicas microbiológicas apropiadas (Véase la parte IV del presente manual). CSB: cámara de seguridad biológica.

con el nivel de bioseguridad de los laboratorios destinados al trabajo con microorganismos de cada uno de esos grupos.

Los países o regiones deberán elaborar una clasificación nacional o regional de los microorganismos en grupos de riesgo, teniendo en cuenta los siguientes factores:

1. La patogenicidad del microorganismo;
2. El modo de transmisión y la gama de huéspedes del microorganismo. Estos dos factores pueden depender de los niveles de inmunidad existentes en la población local, la densidad y los movimientos de la población de huéspedes, la presencia de vectores apropiados y el nivel de higiene ambiental.
3. La disponibilidad local de medidas preventivas eficaces, entre las que cabe citar la profilaxis mediante la administración de antisueros (inmunización pasiva) o vacunas; las medidas de higiene (higiene de los alimentos y del agua, por ejemplo), y la lucha contra los reservorios animales o los artrópodos vectores.
4. La disponibilidad local de tratamientos eficaces, que comprende la inmunización pasiva, la vacunación posexposición y la administración de antimicrobianos, antivíricos y quimioterapia, y debe tener en cuenta la posibilidad de que aparezcan cepas farmacorresistentes.

Cuadro 3. Resumen de los requisitos por nivel de bioseguridad

	NIVEL DE BIOSEGURIDAD			
	1	2	3	4
Aislamiento ^a del laboratorio	No	No	Sí	Sí
Sala que pueda precintarse para ser descontaminada	No	No	Sí	Sí
Ventilación:				
— Flujo de aire hacia el interior	No	Conveniente	Sí	Sí
— Sistema de ventilación controlada	No	Conveniente	Sí	Sí
— Salida de aire con HEPA	No	No	Sí/No ^b	Sí
Entrada de doble puerta	No	No	Sí	Sí
Cámara de cierre hermético	No	No	No	Sí
Cámara de cierre hermético con ducha	No	No	No	Sí
Antesala	No	No	Sí	—
Antesala con ducha	No	No	Sí/No ^c	No
Tratamiento de efluentes	No	No	Sí/No ^c	Sí
Autoclave:				
— En el local	No	Conveniente	Sí	Sí
— En la sala de trabajo	No	No	Conveniente	Sí
— De doble puerta	No	No	Conveniente	Sí
CSB	No	Conveniente	Sí	Sí
Capacidad de vigilancia de la seguridad del personal ^d	No	No	Conveniente	Sí

^a Aislamiento ambiental y funcional respecto del tráfico general.

^b Según la localización de la salida de aire (véase el capítulo 4).

^c Según cuáles sean los agentes empleados en el laboratorio.

^d Por ejemplo, ventana, sistema de televisión en circuito cerrado, comunicación en dos sentidos.

HEPA: filtración de partículas aéreas de gran eficiencia (del inglés *High-Efficiency Particulate Air*). CSB: cámara de seguridad biológica.

La asignación de un agente a un nivel de bioseguridad para el trabajo de laboratorio debe basarse en una evaluación del riesgo. Esa evaluación tendrá en cuenta el grupo de riesgo, además de otros factores, con el fin de determinar el nivel de bioseguridad más apropiado. Por ejemplo, un agente patógeno asignado al grupo de riesgo 2 en general requerirá instalaciones, equipo, prácticas y procedimientos del nivel de bioseguridad 2 para trabajar sin riesgo. No obstante, si ciertos experimentos entrañan la generación de aerosoles con elevadas concentraciones, quizá sea más apropiado el nivel de bioseguridad 3 para proporcionar el grado necesario de seguridad, pues garantiza una mayor contención de los aerosoles en el entorno de trabajo del laboratorio. Por consiguiente, el nivel de bioseguridad asignado a un trabajo concreto dependerá del juicio profesional basado en la evaluación del riesgo, y no en la asignación automática de un nivel de bioseguridad con arreglo al grupo de riesgo particular al que pertenezca el agente patógeno con el que se va a trabajar (véase el capítulo 2).

En el cuadro 3 se resumen los requisitos de las instalaciones en los cuatro niveles de bioseguridad.

De este modo, la asignación de un nivel de bioseguridad tiene en consideración el microorganismo (agente patógeno) utilizado, las instalaciones disponibles y el equipo, las prácticas y los procedimientos necesarios para trabajar con seguridad en el laboratorio.

PARTE I

Directrices en materia de bioseguridad

2. Evaluación del riesgo microbiológico

El pilar de la práctica de la bioseguridad es la evaluación del riesgo. Aunque existen muchas herramientas para ayudar a evaluar el riesgo que comporta un procedimiento o un experimento determinado, el componente más importante es el juicio profesional. Las evaluaciones del riesgo deben ser efectuadas por las personas que mejor conozcan las características peculiares de los organismos con los que se va a trabajar, el equipo y los procedimientos que van a emplearse, los modelos animales que pueden utilizarse y el equipo y los medios de contención disponibles. El director o investigador principal del laboratorio es el responsable de asegurar que se realicen de modo oportuno las evaluaciones del riesgo más apropiadas y de colaborar estrechamente con el comité de seguridad y el personal de bioseguridad de la institución con el fin de velar por que se disponga del equipo y los medios apropiados para el trabajo que está previsto llevar a cabo. Una vez terminadas, las evaluaciones del riesgo deben ser consultadas periódicamente y revisadas cada vez que sea preciso, teniendo en cuenta la obtención de nuevos datos que tengan alguna influencia en el grado de riesgo y toda nueva información pertinente que aparezca en las publicaciones científicas.

Una de las herramientas más útiles de que se dispone para llevar a cabo una evaluación del riesgo microbiológico es la asignación de los agentes microbiológicos a uno de los grupos de riesgo (véase el capítulo 1). Sin embargo, la mera consulta del grupo de riesgo a que pertenece cierto agente no basta para realizar una evaluación del riesgo. Otros factores que hay que tener en cuenta, según proceda, son los siguientes:

1. La patogenicidad del agente y la dosis infectiva.
2. El resultado potencial de la exposición.
3. La vía natural de infección.
4. Otras vías de infección, derivadas de manipulaciones en el laboratorio (parenteral, aérea, por ingestión).
5. La estabilidad del agente en el ambiente.
6. La concentración del agente y el volumen del material concentrado que va a manipularse.
7. La presencia de un huésped apropiado (personas o animales).
8. La información disponible procedente de estudios en animales y de notificaciones de infecciones adquiridas en el laboratorio o de informes clínicos.
9. La actividad prevista en el laboratorio (tratamiento con ultrasonidos, producción de aerosoles, centrifugación, entre otras).

10. Toda manipulación genética del microorganismo que pueda ampliar su gama de huéspedes o su sensibilidad a los regímenes terapéuticos eficaces conocidos (véase el capítulo 16).
11. Disponibilidad local de intervenciones profilácticas o terapéuticas eficaces.

Sobre la base de la información obtenida durante la evaluación de riesgos, se podrá asignar un nivel de bioseguridad al trabajo previsto, seleccionar el equipo de protección apropiado para el personal, y elaborar procedimientos normalizados de trabajo que incorporen otras intervenciones de seguridad con el fin de velar por la máxima seguridad en la realización del trabajo.

Muestras para las que se dispone de información limitada

El procedimiento de evaluación del riesgo descrito anteriormente funciona bien cuando se dispone de información suficiente. Sin embargo, en algunas situaciones no hay información suficiente para llevar a cabo una evaluación apropiada de los riesgos, como ocurre con las muestras clínicas o epidemiológicas recogidas sobre el terreno. En esos casos, conviene que la manipulación de las muestras se realice con prudencia.

1. Deben adoptarse precauciones normalizadas (2) y emplearse protecciones de barrera (guantes, batas, protección ocular) cada vez que se obtengan muestras de pacientes.
2. Las prácticas y los procedimientos básicos de contención del nivel de bioseguridad 2 deben ser el requisito mínimo para la manipulación de muestras.
3. El transporte de muestras debe respetar las normas y reglamentos nacionales o internacionales.

Quizá se disponga de alguna información que ayude a determinar el riesgo que entraña manipular esas muestras:

1. Datos médicos sobre el paciente.
2. Datos epidemiológicos (datos de morbilidad y mortalidad, presunta vía de transmisión, otros datos de la investigación de brotes).
3. Información sobre el origen geográfico de la muestra.

Si se producen brotes de enfermedad de etiología desconocida, las autoridades nacionales competentes o la OMS pueden elaborar directrices particulares apropiadas que publicarán en la Web (como se hizo en 2003 en el caso del síndrome respiratorio agudo severo) para indicar cómo deben prepararse las muestras para el transporte y en qué nivel de bioseguridad deben analizarse.

Evaluación de riesgos y microorganismos genéticamente modificados

En el capítulo 16 se ofrece un examen detallado de la evaluación de los riesgos de los organismos genéticamente modificados.

3. Laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2

Las orientaciones y recomendaciones que se ofrecen en el presente manual a título de requisitos mínimos para los laboratorios de todos los niveles de bioseguridad atañen a los microorganismos de los grupos de riesgo 1 a 4. Aunque algunas precauciones pueden parecer innecesarias para algunos organismos del grupo de riesgo 1, son convenientes con fines de capacitación, para fomentar el uso de técnicas microbiológicas apropiadas (es decir, seguras).

Todos los laboratorios de diagnóstico y de atención de salud (de salud pública, clínicos o de hospital) deben estar diseñados para cumplir, como mínimo, los requisitos del nivel de bioseguridad 2. Dado que ningún laboratorio puede ejercer un control absoluto sobre las muestras que recibe, el personal puede verse expuesto a organismos de grupos de riesgo más altos de lo previsto. Esa posibilidad debe tenerse presente en la elaboración de los planes y las políticas de seguridad. En algunos países se exige que los laboratorios clínicos estén acreditados. En general, siempre deben adoptarse y aplicarse las precauciones normalizadas (2).

Las directrices para laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2 que aquí se exponen son completas y detalladas, ya que son fundamentales para todo tipo de laboratorios. Las directrices para los laboratorios de contención – nivel de bioseguridad 3 y los laboratorios de contención máxima – nivel de bioseguridad 4 que se ofrecen más adelante (capítulos 4 y 5) son modificaciones y adiciones a estas directrices y están concebidas para trabajar con los agentes patógenos más peligrosos (de mayor riesgo).

Código de prácticas

Este código es una enumeración de las prácticas y los procedimientos de laboratorio esenciales que constituyen la base de las técnicas microbiológicas apropiadas. En muchos laboratorios y programas nacionales, este código puede utilizarse para elaborar una guía escrita de prácticas y procedimientos para el trabajo de laboratorio en condiciones de seguridad.

Cada laboratorio debe adoptar un manual de seguridad o de trabajo en el que se identifiquen los riesgos conocidos y potenciales y se especifiquen las prácticas y los procedimientos encaminados a eliminar o reducir al mínimo esos riesgos. Las técnicas microbiológicas apropiadas son fundamentales para la seguridad en el laboratorio y no pueden sustituirse por equipo de laboratorio especializado, que

no pasa de ser un complemento. A continuación se exponen los conceptos más importantes.

Acceso

1. El símbolo y signo internacional de peligro biológico (figura 1) deberá colocarse en las puertas de los locales donde se manipulen microorganismos del grupo de riesgo 2 o superior.
2. Sólo podrá entrar en las zonas de trabajo del laboratorio el personal autorizado.
3. Las puertas del laboratorio se mantendrán cerradas.
4. No se autorizará ni permitirá la entrada de niños en las zonas de trabajo del laboratorio.

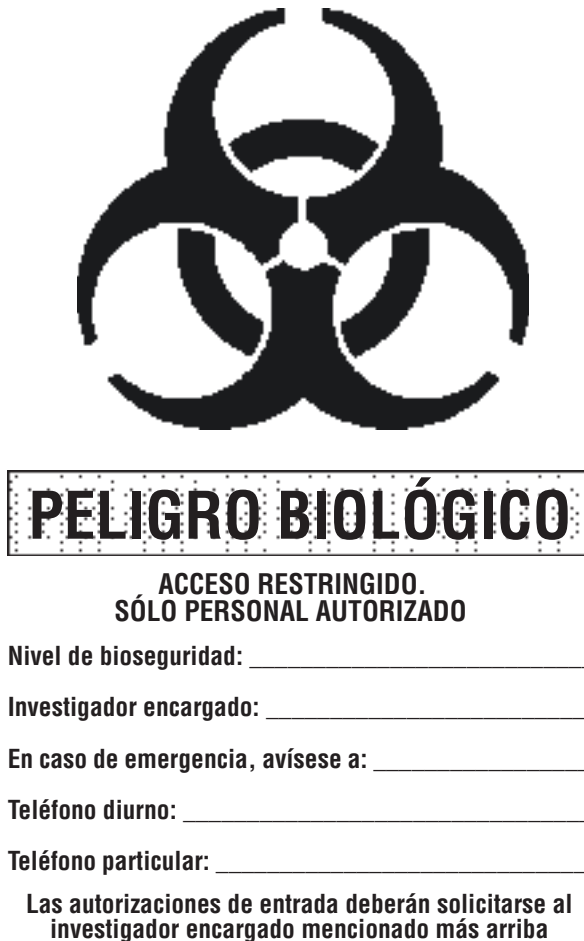


Figura 1. Señal de advertencia de peligro biológico para las puertas del laboratorio

5. El acceso a los locales que alberguen animales habrá de autorizarse especialmente.
6. No se permitirá el acceso al laboratorio de animales que no sean objeto del trabajo del laboratorio.

Protección personal

1. Se usarán en todo momento monos, batas o uniformes especiales para el trabajo en el laboratorio.
2. Se usarán guantes protectores apropiados para todos los procedimientos que puedan entrañar contacto directo o accidental con sangre, líquidos corporales y otros materiales potencialmente infecciosos o animales infectados. Una vez utilizados, los guantes se retirarán de forma aséptica y a continuación se lavarán las manos.
3. El personal deberá lavarse las manos después de manipular materiales y animales infecciosos, así como antes de abandonar las zonas de trabajo del laboratorio.
4. Se usarán gafas de seguridad, viseras u otros dispositivos de protección cuando sea necesario proteger los ojos y el rostro de salpicaduras, impactos y fuentes de radiación ultravioleta artificial.
5. Estará prohibido usar las prendas protectoras fuera del laboratorio, por ejemplo en cantinas, cafeterías, oficinas, bibliotecas, salas para el personal y baños.
6. No se usará calzado sin puntera.
7. En las zonas de trabajo estará prohibido comer, beber, fumar, aplicar cosméticos o manipular lentes de contacto.
8. Estará prohibido almacenar alimentos o bebidas para consumo humano en las zonas de trabajo del laboratorio.
9. La ropa protectora de laboratorio no se guardará en los mismos armarios o taquillas que la ropa de calle.

Procedimientos

1. Estará estrictamente prohibido pipetear con la boca.
2. No se colocará ningún material en la boca ni se pasará la lengua por las etiquetas.
3. Todos los procedimientos técnicos se practicarán de manera que se reduzca al mínimo la formación de aerosoles y gotículas.
4. Se limitará el uso de jeringuillas y agujas hipodérmicas, que no se utilizarán en lugar de dispositivos de pipeteo ni con ningún fin distinto de las inyecciones por vía parenteral o la aspiración de líquidos de los animales de laboratorio.
5. Todos los derrames, accidentes y exposiciones reales o potenciales a materiales infecciosos se comunicarán al supervisor del laboratorio. Se mantendrá un registro escrito de esos accidentes e incidentes.
6. Se elaborará y seguirá un procedimiento escrito para la limpieza de todos los derrames.
7. Los líquidos contaminados deberán descontaminarse (por medios químicos o físicos) antes de eliminarlos por el colector de saneamiento. Puede ser necesario

un sistema de tratamiento de efluentes, según lo que indique la evaluación de riesgos del agente con el que se esté trabajando.

8. Los documentos escritos que hayan de salir del laboratorio se protegerán de la contaminación mientras se encuentren en éste.

Zonas de trabajo del laboratorio

1. El laboratorio se mantendrá ordenado, limpio y libre de materiales no relacionados con el trabajo.
2. Las superficies de trabajo se descontaminarán después de todo derrame de material potencialmente peligroso y al final de cada jornada de trabajo.
3. Todos los materiales, muestras y cultivos contaminados deberán ser descontaminados antes de eliminarlos o de limpiarlos para volverlos a utilizar.
4. El embalaje y el transporte de material deberán seguir la reglamentación nacional o internacional aplicable.
5. Las ventanas que puedan abrirse estarán equipadas con rejillas que impidan el paso de artrópodos.

Gestión de la bioseguridad

1. Incumbirá al director del laboratorio (la persona que tiene responsabilidad inmediata respecto del laboratorio) garantizar la elaboración y la adopción de un plan de gestión de la bioseguridad y de un manual de seguridad o de operación.
2. El supervisor del laboratorio (que dependerá del director) velará por que se proporcione capacitación periódica en materia de seguridad en el laboratorio.
3. Se informará al personal de los riesgos especiales y se le exigirá que lea el manual de seguridad o de trabajo y siga las prácticas y los procedimientos normalizados. El supervisor del laboratorio se asegurará de que todo el personal los comprenda debidamente. En el laboratorio estará disponible una copia del manual de seguridad o de trabajo.
4. Habrá un programa de lucha contra los artrópodos y los roedores.
5. Se ofrecerá a todo el personal en caso de necesidad un servicio apropiado de evaluación, vigilancia y tratamiento médico, y se mantendrán los debidos registros médicos.

Diseño e instalaciones del laboratorio

Al diseñar el laboratorio y asignarle determinados tipos de trabajo, se prestará especial atención a aquellas condiciones que se sepa que plantean problemas de seguridad. Entre ellas figuran:

1. La formación de aerosoles.
2. El trabajo con grandes cantidades o altas concentraciones de microorganismos.
3. El exceso de personal o de material.
4. La infestación por roedores y artrópodos.

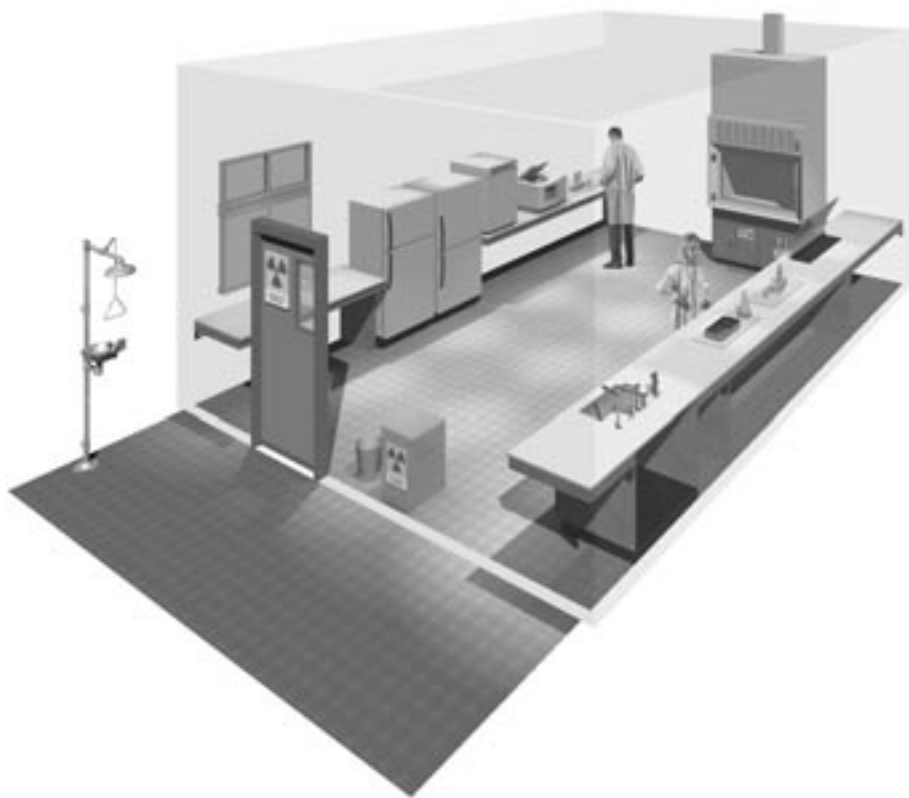


Figura 2. **Laboratorio típico del nivel de bioseguridad 1.**
(Ilustración amablemente cedida por CUH2A, Princeton, NJ (EE.UU.))

5. La entrada de personas no autorizadas.
6. El circuito de trabajo: utilización de muestras y reactivos concretos.

En las figuras 2 y 3, respectivamente, aparecen ejemplos de diseños de laboratorios de los niveles de bioseguridad 1 y 2.

Características de diseño

1. Se dispondrá de espacio suficiente para realizar el trabajo de laboratorio en condiciones de seguridad y para la limpieza y el mantenimiento.
2. Las paredes, los techos y los suelos serán lisos, fáciles de limpiar, impermeables a los líquidos y resistentes a los productos químicos y desinfectantes normalmente utilizados en el laboratorio. Los suelos serán antideslizantes.
3. Las superficies de trabajo serán impermeables y resistentes a desinfectantes, ácidos, álcalis, disolventes orgánicos y calor moderado.
4. La iluminación será adecuada para todas las actividades. Se evitarán los reflejos y brillos molestos.

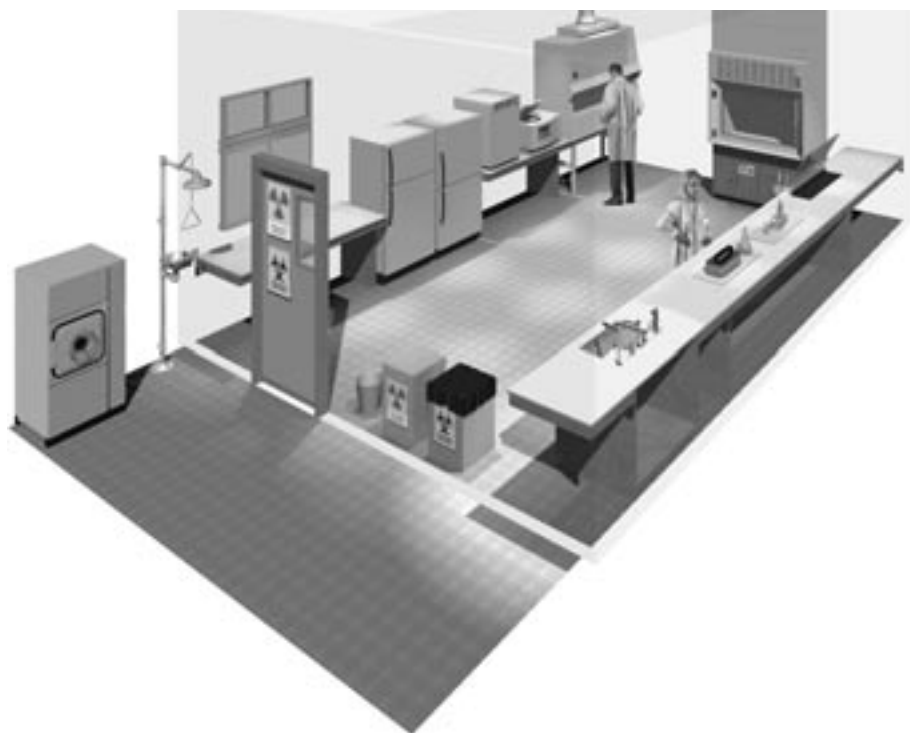


Figura 3. Laboratorio típico del nivel de bioseguridad 2
(Ilustración amablemente cedida por CUH2A, Princeton, NJ (EE.UU)). Los procedimientos que pueden generar aerosoles se efectúan dentro de una cámara de seguridad biológica. Las puertas se mantienen cerradas y llevan las debidas señales de riesgo biológico. Los residuos potencialmente contaminados se separan del circuito general de residuos.

5. El mobiliario debe ser robusto y debe quedar espacio entre mesas, armarios y otros muebles, así como debajo de los mismos, a fin de facilitar la limpieza.
6. Habrá espacio suficiente para guardar los artículos de uso inmediato, evitando así su acumulación desordenada sobre las mesas de trabajo y en los pasillos. También debe preverse espacio para el almacenamiento a largo plazo, convenientemente situado fuera de las zonas de trabajo.
7. Se preverán espacio e instalaciones para la manipulación y el almacenamiento seguros de disolventes, material radiactivo y gases comprimidos y licuados.
8. Los locales para guardar la ropa de calle y los objetos personales se encontrarán fuera de las zonas de trabajo del laboratorio.
9. Los locales para comer y beber y para descansar se dispondrán fuera de las zonas de trabajo del laboratorio.
10. En cada sala del laboratorio habrá lavabos, a ser posible con agua corriente, instalados de preferencia cerca de la salida.

11. Las puertas irán provistas de mirillas y estarán debidamente protegidas contra el fuego; de preferencia se cerrarán automáticamente.
12. En el nivel de bioseguridad 2 se dispondrá de una autoclave u otro medio de descontaminación debidamente próximo al laboratorio.
13. Los sistemas de seguridad deben comprender medios de protección contra incendios y emergencias eléctricas, así como duchas para casos de urgencia y medios para el lavado de los ojos.
14. Hay que prever locales o salas de primeros auxilios, convenientemente equipados y fácilmente accesibles (véase el anexo 1).
15. Cuando se planifique una nueva instalación, habrá que prever un sistema mecánico de ventilación que introduzca aire del exterior sin recirculación. Cuando no se disponga de ventilación mecánica, las ventanas deberán poder abrirse y, a ser posible, estarán provistas de mosquiteras.
16. Es indispensable contar con un suministro regular de agua de buena calidad. No debe haber ninguna conexión entre las conducciones de agua destinada al laboratorio y las del agua de bebida. El sistema de abastecimiento público de agua estará protegido contra el reflujo por un dispositivo adecuado.
17. Debe disponerse de un suministro de electricidad seguro y de suficiente capacidad, así como de un sistema de iluminación de emergencia que permita salir del laboratorio en condiciones de seguridad. Conviene contar con un grupo electrógeno de reserva para alimentar el equipo esencial (estufas, CSB, congeladores, entre otros), así como para la ventilación de las jaulas de los animales.
18. Es esencial un suministro fiable y adecuado de gas. La instalación debe ser objeto del debido mantenimiento.
19. Tanto los laboratorios como los locales destinados a los animales son a veces objeto de actos de vandalismo. Hay que prever sistemas de protección física y contra incendios. Cabe mejorar la seguridad reforzando las puertas, protegiendo las ventanas y limitando el número de llaves en circulación. Se podrán estudiar y aplicar otras medidas, según proceda, para incrementar la seguridad (véase el capítulo 9).

Material de laboratorio

Junto con los procedimientos y prácticas correctos, el uso de material de seguridad ayudará a reducir los riesgos cuando se trabaje con agentes biológicos que entrañen peligro. En la presente sección se exponen los principios fundamentales relacionados con el material apropiado para los laboratorios de todos los niveles de bioseguridad. Los requisitos en relación con el material de laboratorio correspondiente a niveles de bioseguridad más altos se detallan en los capítulos pertinentes.

Tras consultar con el funcionario de bioseguridad y el comité de seguridad (en caso de que se haya designado), el director del laboratorio debe velar por que el material sea apropiado y se utilice debidamente. Para elegir el material de laboratorio habrá que cerciorarse de que responda a los siguientes principios generales:

1. Que su diseño permita limitar o evitar los contactos entre el trabajador y el material infeccioso.
2. Que esté construido con materiales impermeables a los líquidos, resistentes a la corrosión y acordes con las normas de resistencia estructural.
3. Que carezca de rebabas, bordes cortantes y partes móviles sin proteger.
4. Que esté diseñado, construido e instalado con miras a simplificar su manejo y conservación, así como a facilitar la limpieza, la descontaminación y las pruebas de certificación; siempre que se pueda, se evitará el material de vidrio y otro material rompible.

Para cerciorarse de que el material posee las características de seguridad requeridas quizá sea necesario consultar sus especificaciones detalladas de funcionamiento y construcción (véanse también los capítulos 10 y 11).

Material de bioseguridad indispensable

1. Dispositivos de pipeteo para evitar que se pipetee con la boca. Existen muchos modelos diferentes.
2. CSB, que se utilizarán en los siguientes casos:
 - Siempre que se manipule material infeccioso; ese material puede ser centrifugado en el laboratorio ordinario si se utilizan vasos de centrifugadora con tapas herméticas de seguridad y si éstos se cargan y descargan en una CSB;
 - Cuando haya un alto riesgo de infección transmitida por vía aérea.
 - Cuando se utilicen procedimientos con grandes posibilidades de producir aerosoles, como la centrifugación, trituración, homogeneización, agitaciones o mezcla vigorosa, desintegración ultrasónica, apertura de envases de materiales infecciosos cuya presión interna pueda diferir de la presión ambiental, inoculación intranasal a animales y recolección de tejidos infecciosos de animales y huevos.
3. Asas de siembra de plástico desechables. También pueden utilizarse incineradores eléctricos de asas dentro de la CSB para reducir la formación de aerosoles.
4. Frascos y tubos con tapón de rosca.
5. Autoclaves u otros medios apropiados para esterilizar el material contaminado.
6. Pipetas de Pasteur de plástico desechables, cuando estén disponibles, en sustitución del vidrio.
7. Los aparatos como las autoclaves y las CSB deben ser validados con métodos apropiados antes de usarlos. A intervalos periódicos deben ser nuevamente certificados, de acuerdo con las instrucciones del fabricante (véase el capítulo 7).

Vigilancia médica y sanitaria

La entidad que emplea al personal del laboratorio tiene la obligación de cerciorarse, por medio del director de éste, de que la salud de dicho personal esté sometida a la debida vigilancia. El objetivo de esa vigilancia es detectar posibles enfermedades

contraídas durante el trabajo. Entre las actividades apropiadas para alcanzar ese objetivo figuran las siguientes:

1. Proporcionar inmunización activa o pasiva cuando esté indicada (véase el anexo 2).
2. Facilitar la detección temprana de infecciones adquiridas en el laboratorio.
3. Excluir a las personas muy susceptibles (por ejemplo, embarazadas o personas inmunodeficientes) de las tareas de laboratorio que entrañen mucho riesgo.
4. Proporcionar material y procedimientos eficaces de protección personal.

Normas para la vigilancia de los trabajadores que manipulan microorganismos en el nivel de bioseguridad 1

La experiencia indica que estos microorganismos tienen pocas probabilidades de provocar enfermedades humanas o enfermedades animales de importancia veterinaria. No obstante, lo ideal es someter a todo el personal a un reconocimiento médico previo a la contratación en el que se anoten los antecedentes médicos de cada persona. Conviene que se notifiquen rápidamente las enfermedades o accidentes de laboratorio y que todos los miembros del personal comprendan la importancia de aplicar técnicas microbiológicas apropiadas.

Normas para la vigilancia de los trabajadores que manipulan microorganismos en el nivel de bioseguridad 2

1. El reconocimiento médico previo al empleo o a la asignación de un puesto es indispensable. Debe registrarse el historial médico de la persona y realizar una evaluación de la salud ocupacional para los fines del laboratorio.
2. El director del laboratorio debe mantener un registro de enfermedades y bajas laborales.
3. Las mujeres en edad fecunda deberán ser informadas de los riesgos que supone para el feto la exposición profesional a ciertos microorganismos, como el virus de la rubéola. Las medidas concretas que se adopten para proteger al feto dependerán de los microorganismos a los que pueda estar expuesta la mujer.

Capacitación

Los errores humanos y las técnicas incorrectas pueden poner en peligro incluso las mejores medidas destinadas a proteger al personal de laboratorio. Por esta razón, el elemento clave para prevenir las infecciones adquiridas, los incidentes y los accidentes en el laboratorio es un personal preocupado por la seguridad y bien informado sobre la manera de reconocer y combatir los peligros que entraña su trabajo en ese entorno. En consecuencia, la formación continua en el servicio acerca de las medidas de seguridad es primordial. El proceso empieza por el personal directivo, que debe velar por que los procedimientos y prácticas de seguridad en el laboratorio formen parte de la capacitación básica de los empleados. La formación en medidas de seguridad siempre

debe estar integrada en la capacitación inicial de los nuevos empleados. Deben ponerse a disposición del personal el código de prácticas y las directrices locales, incluido el manual de seguridad o de operaciones. Se adoptarán medidas para garantizar que los empleados hayan leído y comprendido las directrices, como pueden ser las páginas de firmas. Los supervisores del laboratorio deben desempeñar el papel principal en la formación de sus subordinados inmediatos acerca de las técnicas correctas de laboratorio. El funcionario encargado de la bioseguridad puede colaborar en esa formación y contribuir a la elaboración de materiales y documentos de capacitación (véase también el capítulo 21).

La capacitación del personal debe comprender siempre la enseñanza de métodos seguros para utilizar procedimientos peligrosos que habitualmente afectan a todo el personal de laboratorio y que entrañan los siguientes riesgos:

1. Riesgo de inhalación (es decir, formación de aerosoles): uso de asas, siembra de placas de agar, pipeteo, preparación de frotis, apertura de recipientes de cultivo, toma de muestras de sangre/suero, centrifugación, entre otros.
2. Riesgo de ingestión al manipular muestras, frotis y cultivos.
3. Riesgo de inoculación cutánea al emplear jeringuillas y agujas.
4. Riesgo de mordeduras y arañazos en la manipulación de animales.
5. Manipulación de sangre y otros materiales patológicos potencialmente peligrosos.
6. Descontaminación y eliminación de material infeccioso.

Manipulación de desechos

Se considera desecho todo aquello que debe descartarse.

En los laboratorios, la descontaminación y la eliminación de desechos son operaciones estrechamente relacionadas. En el trabajo cotidiano, son pocos los materiales contaminados que es preciso retirar del laboratorio o destruir. La mayor parte de la cristalería, los instrumentos y la ropa del laboratorio vuelve a utilizarse o se recicla. El principio básico es que todo el material infeccioso ha de ser descontaminado, esterilizado en autoclave o incinerado en el laboratorio.

Las principales preguntas que hay que hacerse antes de eliminar cualquier objeto o material de un laboratorio que trabaja con microorganismos o tejidos animales potencialmente infecciosos son las siguientes:

1. ¿Se han descontaminado o desinfectado realmente los objetos o el material por un procedimiento aprobado?
2. De lo contrario, ¿se han embalado con un método aprobado para ser incinerados inmediatamente in situ o transferidos a otro laboratorio que tenga capacidad para incinerar?
3. ¿Entraña la eliminación de los objetos o materiales descontaminados algún otro peligro, biológico o de otra clase, para quienes realizan las operaciones de eliminación inmediata o para quienes puedan entrar en contacto con los objetos o materiales desechados fuera del recinto del laboratorio?

Descontaminación

El tratamiento en autoclave de vapor constituye el método de elección para todos los procesos de descontaminación. El material destinado a la descontaminación y eliminación debe introducirse en recipientes (por ejemplo en bolsas de plástico resistentes al tratamiento en autoclave) que tengan un código de color para indicar si el contenido ha de pasar a la autoclave o a la incineración. Sólo se recurrirá a otros métodos si éstos eliminan o destruyen los microorganismos (para más detalles, véase el capítulo 14).

Procedimientos de manipulación y eliminación de material y desechos contaminados

Deberá adoptarse un sistema de identificación y separación del material infeccioso y sus recipientes. Se seguirán las normas nacionales e internacionales y se tendrán en cuenta las siguientes categorías:

1. Desechos no contaminados (no infecciosos) que puedan reutilizarse o reciclarse o eliminarse como si fueran «basura» en general.
2. Objetos cortantes y punzantes contaminados (infecciosos): agujas hipodérmicas, bisturís, cuchillas, vidrio roto; se recogerán siempre en recipientes a prueba de perforación dotados de tapaderas y serán tratados como material infeccioso.
3. Material contaminado destinado al tratamiento en autoclave que después pueda lavarse y volverse a utilizar o reciclarse.
4. Material contaminado destinado al tratamiento en autoclave y a la eliminación.
5. Material contaminado destinado a la incineración directa.

Objetos cortantes y punzantes

Las agujas hipodérmicas no se deben volver a tapar, cortar ni retirar de las jeringuillas desechables después de utilizarlas. El conjunto completo debe colocarse en un recipiente de eliminación específico. Las jeringuillas desechables, utilizadas con o sin aguja, se introducirán en recipientes de eliminación apropiados y se incinerarán, esterilizándolas previamente en autoclave si fuera necesario.

Los recipientes de eliminación de objetos cortantes y punzantes serán resistentes a la perforación y no se llenarán por completo. Cuando estén llenos en sus tres cuartas partes se colocarán en un recipiente de «desechos infecciosos» y se incinerarán, esterilizándolos primero en autoclave si la práctica del laboratorio lo exige. Los recipientes de eliminación de objetos cortantes y punzantes no se desecharán en vertederos.

Material contaminado (potencialmente infeccioso) para ser tratado en autoclave y reutilizado

No se efectuará limpieza alguna de ningún material contaminado (potencialmente infeccioso) que vaya a ser tratado en autoclave y reutilizado. Cualquier limpieza o reparación que se revele necesaria se realizará siempre después del paso por la autoclave o la desinfección.

Material contaminado (potencialmente infeccioso) para ser eliminado

Aparte de los objetos cortantes y punzantes mencionados más arriba, todo el material contaminado (potencialmente infeccioso) debe ser introducido en recipientes impermeables (por ejemplo en bolsas de plástico que resistan el tratamiento en autoclave marcadas con un código de color) y tratado en autoclave antes de proceder a su eliminación. Después de pasar por la autoclave, el material puede colocarse en recipientes apropiados para ser transportado al incinerador. Si es posible, el material procedente de actividades relacionadas con la atención sanitaria no debe desecharse en vertederos, ni siquiera después de haber sido descontaminado. Si se dispone de un incinerador en el laboratorio, no es necesario el tratamiento en autoclave: el material contaminado se coloca en recipientes especialmente marcados (por ejemplo, bolsas con un código de color) y se transporta directamente al incinerador. Los recipientes de transporte reutilizables deben ser impermeables y tener tapas que ajusten debidamente. Se desinfectarán y limpiarán antes de devolverlos al laboratorio para un uso ulterior.

En cada puesto de trabajo deben colocarse recipientes, tarros o cubetas para desechos, de preferencia irrompibles (por ejemplo, de plástico). Cuando se utilicen desinfectantes, los materiales de desecho deben permanecer en contacto íntimo con éstos (es decir, sin estar protegidos por burbujas de aire) durante el tiempo apropiado, según el desinfectante que se utilice (véase el capítulo 14). Los recipientes para desechos habrán de ser descontaminados y lavados antes de su reutilización.

La incineración de desechos contaminados deberá contar con la aprobación de las autoridades encargadas de la salud pública y la contaminación del aire, así como la del funcionario de bioseguridad del laboratorio (véase la sección relativa a la incineración en el capítulo 14).

Seguridad química, eléctrica y radiológica, protección contra incendios y material de seguridad

Los incendios o los accidentes de origen químico, eléctrico o radiológico pueden tener como consecuencia indirecta un fallo de las medidas de contención de organismos patógenos. Así pues, en cualquier laboratorio de microbiología es indispensable mantener un nivel elevado de seguridad en esos aspectos. La promulgación de normas y reglamentos sobre cada una de estas formas de protección incumbe normalmente a las autoridades nacionales y locales competentes, cuya ayuda debe recabarse siempre que sea necesario. Los riesgos químicos, eléctricos, radiológicos y derivados de los incendios se examinan en más detalle en la Parte IV del presente manual (capítulos 17 y 18).

En el capítulo 11 se ofrece más información acerca del material de seguridad.

4. El laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3

El laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3 está concebido e instalado para trabajar con microorganismos del grupo de riesgo 3, así como con grandes volúmenes o concentraciones de microorganismos del grupo de riesgo 2, por entrañar un mayor riesgo de difusión de aerosoles. Este nivel de contención exige fortalecer los programas de trabajo y de seguridad correspondientes a los laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2 (véase el capítulo 3).

Las directrices que se ofrecen en este capítulo se presentan en forma de adiciones a las enunciadas para los laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2, que por ello deberán aplicarse antes de las destinadas específicamente al laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3. Las principales adiciones y modificaciones se refieren a los siguientes aspectos:

1. Código de prácticas.
2. Diseño e instalaciones del laboratorio.
3. Vigilancia médica y sanitaria.

Los laboratorios de esta categoría deben figurar en un registro o una lista que establecerán las autoridades sanitarias nacionales u otra autoridad competente.

Código de prácticas

El código de prácticas de los laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2 también se aplica en este caso, con las siguientes modificaciones:

1. El símbolo y signo internacional de advertencia de peligro biológico (véase la figura 1) expuesto en las puertas de acceso al laboratorio debe especificar el nivel de bioseguridad y el nombre del supervisor del laboratorio que controla el acceso a éste, así como indicar cualquier condición especial de entrada en la zona, como puede ser la inmunización.
2. En el laboratorio se debe llevar ropa protectora apropiada (batas sin abertura delantera o envoltentes, trajes de dos piezas de tipo pijama, monos, gorros y, si corresponde, protección para el calzado o calzado especial). No son apropiadas las batas de laboratorio abotonadas por delante, ni las mangas que no cubran por completo los antebrazos. La ropa de laboratorio no debe usarse fuera de éste y debe descontaminarse antes de enviarla a la lavandería. En ciertos casos, como

cuando se trabaja con agentes agrícolas o zoonóticos, está justificado quitarse la ropa de calle y utilizar ropa de laboratorio especial.

3. Toda manipulación abierta de material potencialmente infeccioso debe realizarse dentro de una CSB u otro dispositivo de contención primaria (véase también el capítulo 10).
4. Puede ser necesario utilizar equipo de protección respiratoria para ciertos procedimientos de laboratorio o para el trabajo con animales que estén infectados con ciertos agentes patógenos (véase el capítulo 11).

Diseño e instalaciones del laboratorio

Las directrices sobre diseño e instalaciones del laboratorio correspondientes a los laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2 se aplican también en este caso, con las siguientes modificaciones:

1. El laboratorio debe estar separado de las zonas del edificio por las que se puede circular sin restricciones. Puede conseguirse una separación suplementaria habilitando el laboratorio al fondo de un pasillo o instalando un tabique con puerta o un sistema de acceso que delimite un pequeño vestíbulo (por ejemplo, entrada de doble puerta o laboratorio básico – nivel de bioseguridad 2) destinado a mantener la diferencia de presiones entre el laboratorio y el espacio adyacente. El vestíbulo debe contar con una zona para separar la ropa limpia de la sucia, y también puede ser necesaria una ducha.
2. Las dobles puertas de acceso al laboratorio deben ser de cierre automático y disponer de un mecanismo de interbloqueo, de modo que sólo una de ellas esté abierta al mismo tiempo. Para uso en caso de emergencia es posible colocar una mampara que se pueda romper.
3. Las superficies de las paredes, suelos y techos deben ser impermeables y fáciles de limpiar. Todas las aberturas existentes en esas superficies (por ejemplo, para tuberías de servicio) deben estar obturadas para facilitar la descontaminación de los locales.
4. La sala del laboratorio debe poderse precintar para proceder a su descontaminación. Los sistemas de conducción de aire han de estar contruidos de modo que sea factible la descontaminación con gases.
5. Las ventanas deben estar cerradas herméticamente y llevar cristales resistentes a la rotura.
6. En las inmediaciones de todas las puertas de salida del laboratorio habrá un lavabo que no necesite ser accionado con la mano.
7. Debe haber un sistema de ventilación que establezca un flujo direccional hacia el laboratorio. Se instalará un dispositivo de vigilancia visual, con o sin alarma, para que el personal pueda comprobar en todo momento que la corriente de aire circula en el sentido deseado.
8. El sistema de ventilación del edificio debe estar contruido de modo que el aire del laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3 no se dirija a otras zonas

del edificio. El aire puede ser filtrado por un sistema HEPA, reacondicionado y recirculado dentro del laboratorio. Cuando el aire del laboratorio (no de las CSB) se expulsa directamente al exterior del edificio, debe dispersarse lejos de los edificios ocupados y de las tomas de aire. Según los agentes con los que se esté trabajando, ese aire puede evacuarse a través de filtros HEPA. Puede instalarse un sistema de control de la calefacción, la ventilación y el aire acondicionado para impedir una presión positiva sostenida en el laboratorio. Cabe estudiar la posibilidad de instalar alarmas audibles o claramente visibles para alertar al personal de posibles fallos del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

9. Todos los filtros HEPA deberán estar instalados de modo que permitan la descontaminación con gases y la realización de pruebas.
10. Las CSB deben estar alejadas de las zonas de paso y de los lugares de cruce de corrientes procedentes de puertas y sistemas de ventilación (véase el capítulo 10).
11. El aire que sale de las CSB de las clases I o II (véase el capítulo 10), y que habrá pasado por filtros HEPA, deberá expulsarse de manera que no se perturbe el equilibrio del aire en la cámara ni en el sistema de evacuación del edificio.
12. Dentro del laboratorio de contención debe haber una autoclave para descontaminar el material de desecho infectado. Si hay que sacar ese material de desecho del laboratorio de contención para su descontaminación y eliminación, habrá que transportarlo en recipientes herméticos, irrompibles e impermeables de acuerdo con las normas nacionales o internacionales, según proceda.
13. El sistema de abastecimiento de agua debe estar dotado de dispositivos contra el reflujo. Los tubos de vacío deben estar protegidos con sifones con desinfectante líquido y filtros HEPA o su equivalente. Las bombas de vacío alternativas también deben estar debidamente protegidas con sifones y filtros.
14. El diseño de las instalaciones y los procedimientos de trabajo del laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3 deben estar documentados.

En la figura 4 se presenta un ejemplo de diseño de un laboratorio de nivel de bioseguridad 3.

Material de laboratorio

Los principios aplicables a la selección del material, incluidas las CSB (véase el capítulo 10) son los mismos que se enunciaron para el laboratorio básico – nivel de bioseguridad 2, con la excepción de que todas las actividades de manipulación de todo el material potencialmente infeccioso deben realizarse dentro de una CSB u otro dispositivo de contención física primaria. Debe tenerse en cuenta que si se utilizan aparatos como centrifugadoras, éstas necesitarán accesorios de contención suplementarios como cubetas de seguridad o rotores de contención. Algunas centrifugadoras y otro material, como los separadores de células, destinados al trabajo con células infectadas pueden necesitar sistemas suplementarios de ventilación y evacuación local con filtros HEPA para una contención eficiente.

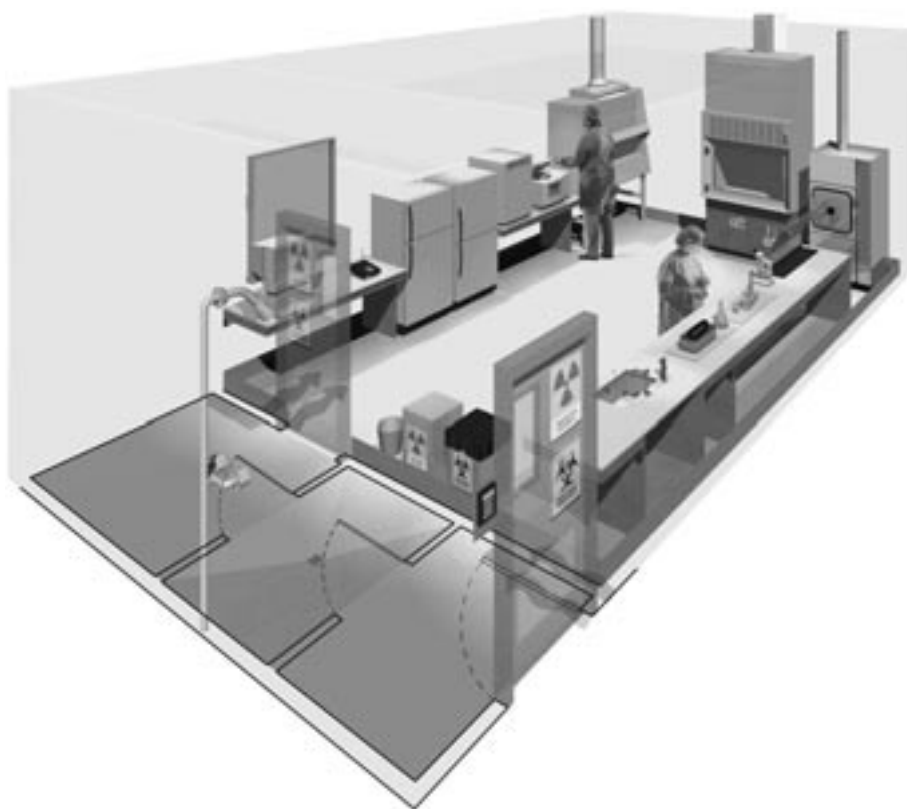


Figura 4. Laboratorio típico del nivel de bioseguridad 3

(Ilustración amablemente cedida por CUH2A, Princeton, NJ (EE.UU.)). El laboratorio está separado de la circulación general y se accede a él por un vestíbulo (entrada de doble puerta o laboratorio básico – nivel de bioseguridad 2) o una cámara de cierre hermético. Dentro de la sala se dispone de una autoclave para la descontaminación de residuos antes de su eliminación. Hay también un lavabo con grifo que puede accionarse sin usar las manos. La corriente de aire circula hacia el interior y todo el trabajo con material infeccioso se efectúa en una cámara de seguridad biológica.

Vigilancia médica y sanitaria

Los objetivos de los programas de vigilancia médica y sanitaria enunciados para los laboratorios básicos – niveles de bioseguridad 1 y 2 se aplican también a los laboratorios de contención – nivel de bioseguridad 3, con las siguientes modificaciones:

1. El reconocimiento médico de todo el personal que trabaja en el laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3 es obligatorio y debe comprender una historia clínica detallada y un reconocimiento físico orientado a la actividad laboral.
2. Una vez pasado el reconocimiento médico con un informe favorable, se entregará a la persona examinada una tarjeta de contacto médico (véase el ejemplo de la

A. Anverso

INFORMACIÓN PARA LA VIGILANCIA DE ENFERMEDADES	
Nombre _____ _____	Fotografía del titular
AL EMPLEADO Conserve esta tarjeta en su poder. En caso de enfermedad febril inexplicada, muéstrela a su médico y avise a uno de los siguientes médicos en el orden indicado:	
Dr. _____	Tel (Consultorio) _____
_____	Tel (Domicilio) _____
Dr. _____	Tel (Consultorio) _____
_____	Tel (Domicilio) _____

B. Reverso

AL MÉDICO El titular de esta tarjeta trabaja en _____ donde existen virus, rickettsias, bacterias, protozoos o helmintos patógenos. En caso d enfermedad febril inexplicada, sírvase pedir al empleador información sobre los agentes a lo que puede haber estado expuesto este empleado. Nombre del laboratorio _____ Dirección _____ _____ _____ _____ Teléfono _____
--

Figura 5. Formato sugerido para la ficha de contacto médico

figura 5) en la que se declare que trabaja en un centro que tiene un laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3. Esa ficha tendrá el tamaño de un billeteo, llevará la fotografía del titular y éste la llevará siempre consigo. Quienes figurarán como «contacto» en la tarjeta es algo que tendrá que acordarse en el plano local, pero entre esas personas deben estar el director del laboratorio, el asesor médico o el funcionario responsable de la bioseguridad.

5. El laboratorio de contención máxima – nivel de bioseguridad 4

El laboratorio de contención máxima – nivel de bioseguridad 4 está concebido para trabajar con microorganismos del grupo de riesgo 4. Antes de construir y poner en funcionamiento un laboratorio de contención máxima se requiere una labor intensiva de consulta con instituciones que tengan experiencia en la utilización de instalaciones de este tipo. Los laboratorios de contención máxima – nivel de bioseguridad 4 en funcionamiento deben estar sometidos al control de las autoridades sanitarias nacionales, u otras apropiadas. La información que sigue tiene como propósito servir solamente como material de presentación. Las entidades que tengan intención de poner en funcionamiento un laboratorio de este nivel deben ponerse en contacto con el programa de Bioseguridad de la OMS para obtener más información.¹

Código de prácticas

El código de prácticas correspondiente al nivel de bioseguridad 3 se aplica también a este nivel con las siguientes modificaciones:

1. Hay que aplicar la regla del trabajo realizado por dos personas, en virtud de la cual ninguna persona debe trabajar sola en el interior del laboratorio. Esto es particularmente importante si el trabajo se realiza con ropa especial del nivel de bioseguridad 4.
2. Al entrar y al salir del laboratorio es imprescindible un cambio completo de ropa y calzado.
3. El personal debe recibir capacitación en procedimientos de evacuación de emergencia en caso de que un miembro del personal sufra lesiones o caiga enfermo.
4. Debe establecerse un método de comunicación entre el personal que trabaja dentro del laboratorio del nivel de bioseguridad 4 y el personal de apoyo que se encuentra fuera del laboratorio para la comunicación ordinaria y de emergencia.

¹ Programa de Bioseguridad, Departamento de Enfermedades Transmisibles (Vigilancia y Respuesta), Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza (<http://www.who.int/csr/>).

Diseño e instalaciones del laboratorio

Los requisitos del laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3 se aplican también a los laboratorios de contención máxima – nivel de bioseguridad 4, con la adición de los siguientes:

1. **Contención primaria.** Debe existir un sistema eficiente de contención primaria que comprenda uno o más de los siguientes elementos:
 - *Laboratorio con CSB de clase III.* Se exige el paso a través de un mínimo de dos puertas antes de acceder a la sala que contiene la CSB de clase III (sala de la cámara). En este diseño de laboratorio la CSB de clase III proporciona la contención primaria. Es necesaria una ducha personal con vestuarios interior y exterior. Los utensilios y materiales que no ingresan en la sala de la cámara a través de la zona de vestuario se introducen por una autoclave o una cámara de fumigación de doble puerta. Una vez debidamente cerrada la puerta exterior, el personal que se encuentra dentro del laboratorio puede abrir la puerta interior para recoger los materiales. Las puertas de la autoclave o la cámara de fumigación están diseñadas de tal modo que la puerta exterior no pueda abrirse a menos que la autoclave haya completado un ciclo de esterilización o la cámara de fumigación haya sido descontaminada (véase el capítulo 10).
 - *Laboratorio diseñado para trabajar con trajes especiales.* El diseño y las instalaciones de un laboratorio destinado al trabajo con trajes protectores con respirador autónomo difiere considerablemente de un laboratorio de nivel de bioseguridad 4 con CSB de clase III. Las salas de este tipo de laboratorio están dispuestas de tal manera que se dirige al personal a través de las zonas de vestuario y descontaminación antes de entrar en las zonas donde se manipula el material infeccioso. Debe existir una ducha de descontaminación de trajes, que será utilizada por el personal antes de abandonar la zona de contención del laboratorio. Habrá otra ducha personal con vestuarios interior y exterior. El traje especial será de una pieza, dotado de presión positiva y con suministro de aire filtrado por HEPA. El aire del traje será suministrado por un sistema que tenga una capacidad redundante del 100% con una fuente de aire independiente, para utilizarla en caso de emergencia. La entrada en la zona del laboratorio destinada al trabajo con trajes especiales se realizará por una cámara dotada de puertas de cierre hermético. Estos laboratorios dispondrán de un sistema apropiado de alarma que el personal pueda utilizar en caso de fallo del sistema mecánico o de aire (véase el capítulo 10).
2. **Acceso controlado.** El laboratorio de contención máxima – nivel de bioseguridad 4 debe estar situado en un edificio independiente o en una zona claramente delimitada en el interior de un edificio protegido. La entrada y la salida del personal y de los suministros se harán a través de cámaras de cierre hermético o sistemas de caja de paso. Al entrar, el personal se mudará por completo de ropa y al salir se duchará antes de volver a ponerse la ropa de calle.

3. **Sistema de ventilación controlada.** Debe mantenerse la presión negativa dentro de las instalaciones. Tanto el aire de entrada como el de salida debe pasar por filtros HEPA. Existen diferencias considerables entre los sistemas de ventilación de los laboratorios con CSB de clase III y los laboratorios donde hay que trabajar con trajes especiales:

- *Laboratorio con cámara biológica de clase III.* El aire suministrado a las CSB de clase III puede proceder del interior de la sala y atravesar un filtro HEPA montado en la cámara o directamente del sistema de entrada de aire. El aire evacuado de la CSB de clase III debe atravesar dos filtros HEPA antes de salir al exterior del edificio. La cámara debe funcionar en todo momento a presión negativa respecto del laboratorio circundante. Se requiere un sistema de ventilación exclusivo que no haga recircular el aire para el laboratorio.
- *Laboratorio diseñado para trabajar con trajes especiales.* Se requieren sistemas exclusivos de suministro y evacuación del aire de la sala. Los componentes de suministro y evacuación del sistema de ventilación estarán equilibrados de tal forma que el flujo de aire dentro de la zona de trabajo con traje protector vaya desde las zonas de menos peligro a las de mayor peligro. Se necesitan ventiladores extractores redundantes para garantizar que las instalaciones se mantienen en todo momento a presión negativa. Deben vigilarse las diferencias de presión dentro del laboratorio y entre el laboratorio y las zonas adyacentes, así como el flujo del aire en los componentes de suministro y evacuación del sistema de ventilación, y debe utilizarse un sistema de control apropiado para impedir la presurización del laboratorio. El aire suministrado a la zona de trabajo con trajes especiales y a la ducha y a las cámaras de descontaminación con cierre hermético debe pasar por filtros HEPA. El aire evacuado del laboratorio debe atravesar dos filtros HEPA antes de salir al exterior. Otra posibilidad es que, tras una doble filtración por HEPA, el aire se recircule, pero sólo dentro del laboratorio; en ninguna circunstancia el aire evacuado del laboratorio de nivel de bioseguridad 4 diseñado para trabajar con trajes especiales se reciclará a otras zonas. Debe obrarse con la máxima precaución si se elige el sistema de recirculación de aire dentro del laboratorio. Deben tenerse en cuenta los tipos de investigación que se realicen, el equipo, las sustancias químicas y otros materiales utilizados, así como las especies de animales que puedan intervenir en la investigación.

Todos los filtros HEPA serán probados y certificados una vez al año. Los filtros HEPA estarán instalados de tal modo que permitan su descontaminación in situ antes de retirarlos. Otra posibilidad es retirar el filtro y colocarlo en un recipiente primario cerrado y hermético para su ulterior descontaminación y/o destrucción por incineración.

4. **Descontaminación de efluentes.** Todos los efluentes de la zona de trabajo con trajes especiales, la cámara y la ducha de descontaminación o la CSB de clase III

serán descontaminados antes de su eliminación definitiva. El método de elección es el tratamiento térmico. Será necesario corregir el pH de algunos efluentes antes de evacuarlos. El agua de la ducha personal y los retretes se puede verter directamente al alcantarillado sin tratamiento previo.

5. **Esterilización de los desechos y materiales.** La zona del laboratorio debe contar con una autoclave de doble puerta. Debe disponerse de otros métodos de descontaminación para aquellos elementos del equipo que no soporten la esterilización por vapor.
6. **Accesos con entrada de cierre hermético** para muestras, materiales y animales.
7. Deben existir **líneas de suministro eléctrico** exclusivas y de emergencia.
8. Se instalarán **sumideros de contención**.

Dada la gran complejidad de las características técnicas, el diseño y la construcción de las instalaciones del nivel de bioseguridad 4, tanto en la modalidad de CSB como en la de trajes especiales, no se han incluido representaciones esquemáticas de esas instalaciones.

Del mismo modo, la gran complejidad del trabajo que se lleva a cabo en los laboratorios del nivel de bioseguridad 4 hace necesario elaborar un manual de trabajo detallado y aparte que se ensayará en los ejercicios de capacitación. Además, se elaborará un programa de emergencia (véase el capítulo 13). En la preparación de este programa habrá que contar con la colaboración activa de las autoridades sanitarias nacionales y locales, y la participación de otros servicios de emergencia (por ejemplo bomberos, policía y servicios hospitalarios).

6. Animalarios

El empleo de animales de laboratorio con fines experimentales y de diagnóstico impone al usuario la obligación moral de adoptar todas las medidas necesarias para evitar que aquéllos padezcan dolores o sufrimientos innecesarios. Hay que proporcionar a los animales un alojamiento cómodo, higiénico y de dimensiones suficientes, así como agua y comida de buena calidad y en cantidad suficiente. Al final del experimento habrá que sacrificarlos con el procedimiento menos cruel posible.

Por motivos de seguridad, los animales deben estar alojados en un local independiente, separado del laboratorio. Si se trata de un local contiguo, deberá estar construido de tal modo que sea posible aislarlo de las partes públicas del laboratorio en caso de necesidad, así como para las operaciones de descontaminación y desinfestación.

Cuadro 4. Niveles de contención de los animalarios: resumen de los procedimientos y equipo de seguridad

GRUPO DE RIESGO	NIVEL DE CONTENCIÓN	PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO Y EQUIPO DE SEGURIDAD
1	NBSA-1	Acceso restringido, ropa y guantes protectores
2	NBSA-2	Procedimientos del NBSA-1, más señales de advertencia del riesgo. CSB de clase I o II para las actividades que producen aerosoles. Descontaminación de desechos y jaulas antes del lavado.
3	NBSA-3	Procedimientos del NBSA-2, más acceso controlado. CSB y ropa protectora especial para todas las actividades.
4	NBSA-4	Procedimientos del NBSA-3, más acceso estrictamente restringido. Muda de ropa antes de entrar. CSB de clase III o trajes de presión positiva. Ducha a la salida. Descontaminación de todos los desechos antes de su salida de las instalaciones.

NBSA: nivel de bioseguridad de las instalaciones para los animales; CSB: cámaras de seguridad biológica.

Al igual que los laboratorios, los animalarios pueden clasificarse en cuatro niveles de bioseguridad, con arreglo a una evaluación del riesgo y al grupo de riesgo al que pertenecen los microorganismos investigados.

En lo que respecta a los agentes patógenos que van a utilizarse en el laboratorio de animales, hay que tener en cuenta los siguientes factores:

1. La vía normal de transmisión.
2. Los volúmenes y las concentraciones que van a manejarse.
3. La vía de inoculación.
4. En su caso, la vía de excreción de los agentes.

En cuanto a los animales que van a usarse en el laboratorio, los factores que hay que tener en cuenta son los siguientes:

1. El carácter de los animales, es decir, su grado de agresividad y tendencia a morder o arañar.
2. Sus endoparásitos y ectoparásitos naturales.
3. Las zoonosis a las que son susceptibles.
4. La posible diseminación de alérgenos.

Como en el caso de los laboratorios, los requisitos relativos a las características de diseño, el equipo y las precauciones son cada vez más estrictos a medida que aumenta el nivel de seguridad. Esos requisitos se describen a continuación y se resumen en el cuadro 4. Las directrices son acumulativas; es decir, cada nivel incorpora los requisitos de los niveles inferiores.

Animalarios – nivel de bioseguridad 1

Este nivel es el apropiado para mantener a la mayoría de los animales después de la cuarentena (salvo los primates no humanos, respecto de los cuales debe consultarse a las autoridades nacionales) y para los animales que son inoculados deliberadamente con agentes del grupo de riesgo 1. Se necesitan técnicas microbiológicas apropiadas. El director del animalario debe determinar las políticas, procedimientos y protocolos para todas las operaciones, así como para el acceso al animalario. Se instituirá un programa apropiado de vigilancia médica para el personal y se preparará y adoptará un manual de seguridad de las operaciones.

Animalarios – nivel de bioseguridad 2

Este nivel es apropiado para el trabajo con animales a los que se inoculan deliberadamente microorganismos del grupo de riesgo 2. Se aplicarán las siguientes precauciones de seguridad:

1. Se cumplirán todos los requisitos de los animalarios del nivel 1.
2. Se colocarán señales de advertencia del peligro biológico (véase la figura 1) en las puertas y otros lugares apropiados.
3. El local estará diseñado de modo que sea fácil de limpiar y mantener.
4. Las puertas deben abrirse hacia dentro y cerrarse solas.
5. La calefacción, la ventilación y la iluminación deben ser apropiadas.

6. Si se instala ventilación mecánica, el flujo de aire debe dirigirse hacia dentro. El aire utilizado se evacuará al exterior y no se reciclará a ninguna otra parte del edificio.
7. El acceso se limitará a las personas autorizadas.
8. No se admitirá ningún animal distinto de los utilizados con fines experimentales.
9. Existirá un programa de lucha contra artrópodos y roedores.
10. Si hay ventanas, estas serán seguras, irrompibles y, si se pueden abrir, llevarán rejillas a prueba de artrópodos.
11. Las superficies de trabajo habrán de ser descontaminadas con desinfectantes eficaces después del trabajo (véase el capítulo 14).
12. Se dispondrá de CSB (clases I o II) o jaulas aislantes con suministro especial de aire y evacuación de aire a través de filtros HEPA para aquellas tareas que puedan entrañar la generación de aerosoles.
13. Se dispondrá de una autoclave in situ o cerca del animalario.
14. El material de los lechos de los animales se eliminará de modo que se reduzca al mínimo la producción de aerosoles y polvo.
15. Todos los materiales de desecho y de los lechos deben descontaminarse antes de ser eliminados.
16. Se restringirá en lo posible el uso de instrumentos punzantes o cortantes. éstos se recogerán siempre en recipientes resistentes y a prueba de perforación, provistos de tapa, y serán tratados como material infeccioso.
17. El material destinado al tratamiento con autoclave o a la incineración debe transportarse sin riesgo en recipientes cerrados.
18. Las jaulas de los animales se descontaminarán después de su uso.
19. Los cadáveres de los animales serán incinerados.
20. En el local se utilizará ropa y equipo de protección, que se retirará a la salida.
21. Se instalarán lavabos y el personal se lavará las manos antes de salir del animalario.
22. Todas las lesiones, por leves que sean, deberán ser tratadas de forma apropiada, notificadas y registradas.
23. Estará prohibido comer, beber, fumar y aplicar cosméticos dentro del animalario.
24. Todo el personal deberá recibir capacitación apropiada.

Animalarios – nivel de bioseguridad 3

Este nivel es apropiado para trabajar con animales que son inoculados deliberadamente con agentes incluidos en el grupo de riesgo 3, o cuando así lo indique la evaluación del riesgo. Todos los sistemas, prácticas y procedimientos habrán de ser revisados y certificados nuevamente una vez al año. Se aplicarán las siguientes precauciones de seguridad:

1. Deben cumplirse todos los requisitos correspondientes a los animalarios de los niveles de bioseguridad 1 y 2.
2. El acceso debe estar estrictamente controlado.

3. El animalario estará separado de otros locales del laboratorio y destinados a animales por dos puertas que formen un vestíbulo o antesala.
4. En el vestíbulo se instalarán lavabos.
5. En el vestíbulo se instalarán duchas.
6. Habrá que disponer de ventilación mecánica que asegure un flujo continuo de aire en todos los locales. El aire de salida pasará por filtros HEPA antes de ser evacuado a la atmósfera sin ningún tipo de recirculación. El sistema estará diseñado de tal modo que impida el flujo de retorno accidental y que haya una presión positiva en todas partes del animalario.
7. Se dispondrá de una autoclave situada en un lugar cómodo respecto del alojamiento de los animales y donde el riesgo biológico esté contenido. Los residuos infecciosos se tratarán en la autoclave antes de trasladarlos a otros lugares de la instalación.
8. Se dispondrá de un incinerador de fácil acceso en la instalación o se tomarán otras disposiciones al mismo efecto con las autoridades competentes.
9. Los animales infectados con microorganismos del grupo de riesgo 3 estarán alojados en jaulas aisladas o en locales con salidas de ventilación situadas detrás de las jaulas.
10. Los lechos de los animales tendrán el mínimo polvo que sea posible.
11. Toda la ropa protectora deberá ser descontaminada antes de enviarla a la lavandería.
12. Las ventanas estarán herméticamente cerradas y serán resistentes a la rotura.
13. Se ofrecerá al personal la posibilidad de inmunizarse, si procede.

Animalarios – nivel de bioseguridad 4

El trabajo que se realice en estas instalaciones normalmente guardará relación con el del laboratorio de contención máxima – nivel de bioseguridad 4, y habrá que armonizar las normas y los reglamentos nacionales y locales para aplicarlos a ambos tipos de instalaciones. Para el trabajo en laboratorios que requieren trajes especiales se utilizarán prácticas y procedimientos especiales, además de los que se describen a continuación (véase el capítulo 5).

1. Se cumplirán todos los requisitos de los animalarios de los niveles de bioseguridad 1, 2 y 3.
2. El acceso estará estrictamente controlado; sólo tendrá autorización para entrar el personal designado por el director del establecimiento.
3. Ninguna persona deberá trabajar sola: se aplicará la regla de las dos personas.
4. El personal habrá recibido el máximo nivel posible de formación en microbiología y estará familiarizado con los riesgos que entraña su trabajo y las precauciones necesarias.
5. Las zonas en las que se alojen los animales infectados con agentes del grupo de riesgo 4 mantendrán los criterios de contención descritos y aplicados en los laboratorios de contención máxima – nivel de bioseguridad 4.

6. Se entrará en la instalación por un vestíbulo de cierre hermético cuya parte limpia estará separada de la parte restringida por las instalaciones de cambio de ropa y duchas.
7. El personal deberá quitarse la ropa de calle al entrar y ponerse ropa protectora especial. Después del trabajo se quitará la ropa, la separará para ser tratada en autoclave, y se duchará antes de salir.
8. La instalación estará ventilada por un sistema de evacuación de aire con filtros HEPA que asegure una presión negativa (flujo de aire hacia el interior).
9. El sistema de ventilación estará diseñado de modo que impida el flujo de retorno y la presurización positiva.
10. Para el intercambio de materiales se dispondrá de una autoclave de doble puerta con el extremo limpio situado en una sala exterior a las salas de contención.
11. Para el intercambio de materiales que no puedan ser tratados en la autoclave se dispondrá de una caja de paso con cierre hermético cuyo extremo limpio estará situado fuera de salas de contención.
12. Todas las manipulaciones de animales infectados con agentes del grupo de riesgo 4 se realizarán en condiciones de contención máxima – nivel de bioseguridad 4.
13. Todos los animales estarán alojados en aisladores.
14. Todos los desechos y el material de los lechos de los animales se tratarán en la autoclave antes de sacarlos del animalario.
15. Se someterá al personal a vigilancia médica.

Invertebrados

Como en el caso de los vertebrados, el nivel de bioseguridad de las instalaciones para estos animales vendrá determinado normalmente por el grupo de riesgo del agente estudiado o según lo que indique la evaluación del riesgo. No obstante, con ciertos artrópodos, en particular los insectos voladores, se necesitan además algunas precauciones especiales:

1. Se dispondrá de locales distintos para los invertebrados infectados y no infectados.
2. Esos locales podrán sellarse para ser fumigados.
3. Se dispondrá con facilidad de pulverizadores de insecticidas.
4. Se dispondrá de instalaciones de «enfriamiento» para reducir, cuando sea preciso, la actividad de los invertebrados.
5. El acceso se hará a través de un vestíbulo provisto de mosquiteras en las puertas y trampas para insectos.
6. Todos los conductos de salida de la ventilación y las ventanas que puedan abrirse estarán equipados con mosquiteras.
7. No se permitirá que se sequen los sifones de los fregaderos y desagües.
8. Todos los residuos se descontaminarán en la autoclave, ya que algunos invertebrados son resistentes a algunos insecticidas.

9. Se controlará el número de larvas y formas adultas de artrópodos voladores, rep-tadores y saltadores.
10. Los recipientes para garrapatas y ácaros se depositarán en cubetas con aceite.
11. Los insectos voladores infectados o potencialmente infectados se albergarán en jaulas de doble malla.
12. Los artrópodos infectados o potencialmente infectados se manipularán en CSB o cámaras aislantes.
13. Los artrópodos infectados o potencialmente infectados podrán manipularse en bandejas de enfriamiento.

Puede obtenerse más información en las referencias 3 a 6.

7. Directrices para la puesta en servicio de laboratorios e instalaciones

La puesta en servicio de laboratorios e instalaciones afines puede definirse como el proceso de comprobación sistemática y documentación de que los componentes estructurales y los sistemas y/o componentes de sistemas del laboratorio han sido instalados, inspeccionados, sometidos a pruebas funcionales y verificados para determinar si cumplen las normas nacionales o internacionales, según proceda. Esos requisitos son establecidos por los criterios de diseño del sistema y la función de cada edificio. En otras palabras, los laboratorios de los niveles de bioseguridad 1 a 4 tendrán distintos requisitos, cada vez más complejos, en materia de puesta en servicio. Las condiciones geográficas y climáticas, como las fallas tectónicas o el calor, frío y humedad extremos, también pueden influir en el diseño del laboratorio y, por tanto, en los requisitos de la puesta en servicio. Al final del proceso de puesta en servicio, los componentes estructurales y los sistemas de apoyo pertinentes habrán sido sometidos a las diversas condiciones de funcionamiento que razonablemente cabe esperar, así como a distintas modalidades de fallo, y habrán recibido la aprobación necesaria.

El proceso de puesta en servicio y los criterios de aceptación de las instalaciones deberán determinarse en una fase temprana, preferiblemente durante la programación del proyecto de construcción o renovación. Al tener en cuenta el proceso de puesta en servicio durante las primeras fases del proyecto, los arquitectos, los ingenieros, el personal de seguridad e higiene y, en última instancia, los ocupantes del laboratorio comprenderán los requisitos de funcionamiento del laboratorio de que se trate y tendrán expectativas uniformes en cuanto al rendimiento de las instalaciones. El proceso de puesta en servicio proporciona a la institución y a la comunidad circundante un mayor grado de confianza al asegurar que los sistemas estructural, eléctrico, mecánico y de conducciones, los sistemas de contención y descontaminación y los sistemas de seguridad y alarma funcionarán conforme a lo previsto para garantizar la contención de todo microorganismo potencialmente peligroso con el que se esté trabajando en ese laboratorio o animalario.

Las actividades de puesta en servicio suelen comenzar durante la fase de programación del proyecto y avanzan a lo largo de la construcción y el ulterior período de garantía del laboratorio o la instalación. Los períodos de garantía normalmente deben ser de un año tras la ocupación de las instalaciones. Se recomienda recurrir a un agente de puesta en servicio que sea independiente de las empresas de arquitectos, ingenieros y constructores que han intervenido en el diseño y la construcción del laboratorio. El

agente actúa como defensor de la institución que construye o renueva el laboratorio y debe ser considerado miembro del equipo de diseño; su participación en las primeras fases de programación del proyecto es indispensable. En algunos casos, la propia institución puede desempeñar ese papel. Cuando se trate de laboratorios más complejos (niveles de bioseguridad 3 ó 4), quizá la institución desee recurrir a un agente externo que haya demostrado experiencia y buen hacer en la puesta en servicio de otros laboratorios y animalarios complejos. Aunque se recurra a un agente independiente, la institución debe formar parte del equipo de puesta en servicio. Se recomienda que, además del agente de puesta en servicio, formen también parte del equipo el funcionario de seguridad y el oficial de proyectos de la institución, el director del programa y un representante del personal de operaciones y mantenimiento.

A continuación se enumeran, de forma no exhaustiva, los sistemas y componentes del laboratorio que pueden incluirse en un plan de puesta en servicio para un ensayo de funcionamiento, según el nivel de contención de las instalaciones que se estén renovando o construyendo. Evidentemente, el plan de puesta en servicio efectiva reflejará la complejidad del laboratorio que se esté planificando.

1. Sistemas automatizados del edificio, incluidos los enlaces con puntos de vigilancia y control remotos
2. Sistemas electrónicos de vigilancia y detección
3. Cierres electrónicos de seguridad y dispositivos lectores de proximidad
4. Sistemas de calefacción, ventilación (suministro y extracción) y aire acondicionado
5. Sistemas de filtración HEPA
6. Sistemas de descontaminación por filtros HEPA
7. Controles de los sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado, evacuación de aire, y cierre con dispositivo de interbloqueo
8. Compuertas aislantes de cierre hermético
9. Sistema de refrigeración del laboratorio
10. Calderas y sistema de vapor
11. Sistemas de detección, alarma y extinción de incendios
12. Sistemas de prevención de reflujo del agua de uso doméstico
13. Sistemas de agua tratada (es decir, ósmosis inversa, agua destilada)
14. Sistemas de tratamiento y neutralización de efluentes líquidos
15. Sistemas de fontanería y desagües
16. Sistemas de descontaminación química
17. Sistemas de gases para laboratorios médicos
18. Sistemas de aire para respirar
19. Sistemas de aire para servicios e instrumentos
20. Verificación de la cascada de presiones diferenciales en los laboratorios y zonas auxiliares
21. Sistemas de red de área local (LAN) y de datos informáticos

22. Sistemas de energía ordinarios
23. Sistemas de energía de emergencia
24. Sistemas de energía ininterrumpibles
25. Sistemas de alumbrado de emergencia
26. Juntas aislantes de los elementos de alumbrado
27. Juntas aislantes de los dispositivos eléctricos y mecánicos
28. Sistemas telefónicos
29. Controles de los dispositivos de interbloqueo de las puertas de cierre hermético
30. Juntas de estanqueidad de las puertas de cierre hermético
31. Juntas de estanqueidad de ventanas y mirillas
32. Cajas de paso a través de barreras
33. Verificación de la integridad estructural: suelos, paredes y techos de hormigón
34. Verificación de revestimientos de barrera: suelos, paredes y techos
35. Funciones de presurización y aislamiento en la zona de contención del nivel de bioseguridad 4
36. CSB
37. Autoclaves
38. Sistema de nitrógeno líquido y alarmas
39. Sistema de detección de agua (por ej., en caso de inundación de la zona de contención)
40. Duchas de descontaminación y sistema de aditivos químicos
41. Sistemas de lavado y neutralización para jaulas
42. Gestión de desechos.

8. Directrices para la certificación de laboratorios e instalaciones

Los laboratorios son entornos complejos y dinámicos. Un laboratorio clínico o de investigación biomédica moderno debe ser capaz de adaptarse rápidamente a las necesidades y presiones cada vez mayores en materia de salud pública. Buen ejemplo de ello es la necesidad de que los laboratorios ajusten sus prioridades para hacer frente a los retos planteados por las enfermedades infecciosas emergentes o reemergentes. Para velar por que esos entornos dinámicos que son los laboratorios se adapten y estén mantenidos de modo apropiado y sin riesgos, todos los laboratorios clínicos y de investigación biológica deben ser certificados periódicamente. Esa certificación permite garantizar que:

1. Se estén utilizando controles técnicos apropiados que funcionan debidamente y con arreglo al diseño
2. Existan los debidos controles administrativos respecto del lugar y de los protocolos
3. El equipo de protección personal sea el indicado para las tareas que se realizan
4. La descontaminación de desechos y materiales se haya estudiado y existan los debidos procedimientos de gestión de desechos
5. Se observen las normas generales de seguridad en el laboratorio, entre ellas las relativas a la seguridad física, eléctrica y química.

La certificación del laboratorio difiere de las actividades de puesta en servicio (capítulo 7) en varios aspectos importantes. La certificación del laboratorio es el examen sistemático de todas las características y procesos de seguridad dentro del laboratorio (controles técnicos, equipo de protección personal y controles administrativos). También se examinan las prácticas y los procedimientos en materia de bioseguridad. La certificación es una actividad sostenida de garantía de la calidad y la seguridad que debe efectuarse con carácter periódico.

Las actividades de certificación de laboratorios pueden ser realizadas por profesionales de seguridad y salud o de bioseguridad debidamente adiestrados. Las instituciones pueden contratar a personal que cuente con los conocimientos necesarios para llevar a cabo auditorías, encuestas o inspecciones (términos que se emplean indistintamente) asociadas al proceso de certificación. También puede darse el caso de que las instituciones prefieran o se les exija recurrir a terceros para prestar esos servicios.

Los laboratorios clínicos y de investigación biomédica pueden poner a punto instrumentos de auditoría, encuesta o inspección para lograr cierta coherencia en el proceso de certificación. Esos instrumentos deben ser lo bastante flexibles como para amoldarse a las diferencias físicas y de procedimiento que existen entre unos laboratorios y otros y que dependen del tipo de trabajo que realizan, y al mismo tiempo aplicar un criterio uniforme dentro de la institución. Debe procurarse que esos instrumentos sólo sean utilizados por personal adecuadamente adiestrado, para que no se tomen como un mero sustituto de una correcta evaluación profesional de la bioseguridad. En los cuadros 5 a 7 se ofrecen ejemplos de esos instrumentos.

Los resultados de la auditoría, encuesta o inspección deben comentarse con el personal y la dirección del laboratorio. Dentro del laboratorio, habrá que designar a una persona responsable de velar por que se adopten las medidas necesarias para corregir toda deficiencia que haya puesto de manifiesto la auditoría. La certificación del laboratorio no estará completa, y el laboratorio no deberá funcionar, hasta que las deficiencias se hayan subsanado debidamente.

Por su complejidad, las operaciones de los laboratorios del nivel de bioseguridad 4 quedan fuera del alcance del presente manual. Si se desean más detalles e información, puede consultarse al Programa de Bioseguridad de la OMS¹ (véase también el anexo 3).

¹ Programa de Bioseguridad, Departamento de Enfermedades Transmisibles (Vigilancia y Respuesta), Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza (<http://www.who.int/csr/>).

Cuadro 5. **Laboratorio básico – nivel de bioseguridad 1: encuesta sobre la seguridad en el laboratorio**

LUGAR	FECHA			
ENCARGADO DEL LABORATORIO				
COMPROBADO (FECHA)	SÍ	NO	N/A	OBSERVACIONES
Laboratorio				
Señalización apropiada: radiación ultravioleta, láser, material radiactivo, etc.	☐	☐	☐	Nivel de bioseguridad: <i>Adjuntar el formulario de encuesta del nivel de bioseguridad que corresponda</i>
Directrices de bioseguridad apropiadas disponibles y cumplidas	☐	☐	☐	
Equipo de laboratorio debidamente rotulado (peligro biológico, radiactivo, tóxico, etc.)	☐	☐	☐	
Diseño del laboratorio				
Facilidad de limpieza	☐	☐	☐	
Alumbrado ultravioleta en la sala con interruptor de interbloqueo	☐	☐	☐	
Todas las estanterías están fijadas con firmeza	☐	☐	☐	
Mostradores impermeables y resistentes a ácidos, álcalis, disolventes orgánicos y calor	☐	☐	☐	
Iluminación suficiente	☐	☐	☐	
Suficiente espacio de almacenamiento, que se aprovecha debidamente	☐	☐	☐	
Bombonas de gas				
Todas las bombonas bien aseguradas	☐	☐	☐	
Bombonas de reserva con sus tapas correspondientes	☐	☐	☐	
Gases asfixiantes y peligrosos sólo en salas ventiladas	☐	☐	☐	
Cantidad excesiva de bombonas o bombonas vacías	☐	☐	☐	
Sustancias químicas				
Sustancias inflamables almacenadas en armario especial	☐	☐	☐	
Sustancias formadoras de peróxidos con doble fecha (recepción y apertura)	☐	☐	☐	
Sustancias químicas debidamente separadas	☐	☐	☐	
Sustancias químicas peligrosas almacenadas por encima del nivel de los ojos	☐	☐	☐	
Sustancias químicas almacenadas en el suelo	☐	☐	☐	
Recipientes abiertos	☐	☐	☐	
Todas las soluciones debidamente rotuladas	☐	☐	☐	
Termómetros de mercurio en uso	☐	☐	☐	
Frigoríficos/congeladores/cámaras de frío				
Presencia de alimentos para consumo humano	☐	☐	☐	
Sustancias inflamables en unidades a prueba de explosión	☐	☐	☐	
Rótulos exteriores si contienen sustancias cancerígenas, radiactivas o con peligro biológico	☐	☐	☐	
Cámaras de frío con apertura de emergencia	☐	☐	☐	

COMPROBADO (FECHA)	SÍ	NO	N/A	OBSERVACIONES
Equipo eléctrico				
Cables alargadores	☐	☐	☐	
Enchufes con toma de tierra y la debida polaridad	☐	☐	☐	
Conexiones cerca de fregaderos, duchas, etc.	☐	☐	☐	
Equipo sin cables desgastados o en mal estado	☐	☐	☐	
Enchufes o tomas eléctricas sobrecargados	☐	☐	☐	
Tomas de corriente montadas fuera del suelo	☐	☐	☐	
Fusibles apropiados	☐	☐	☐	
Las tomas eléctricas cercanas a puntos de agua cumplen las normas locales	☐	☐	☐	
Toma de tierra en cables eléctricos	☐	☐	☐	
Calefactores portátiles	☐	☐	☐	
Equipo de protección personal				
Material para lavado de ojos en el laboratorio	☐	☐	☐	
Ducha de seguridad disponible	☐	☐	☐	
Equipo de protección personal disponible (guantes, batas, gafas de protección, etc.)	☐	☐	☐	
Ocupantes debidamente vestidos	☐	☐	☐	
Las batas, camisas, guantes y otras prendas de vestir no se usan fuera del laboratorio	☐	☐	☐	
Equipo de protección personal para el almacenamiento criogénico	☐	☐	☐	
Gestión de residuos				
Signos de gestión indebida de residuos	☐	☐	☐	
Desechos debidamente separados en los recipientes apropiados	☐	☐	☐	
Recipientes para residuos químicos rotulados, fechados y cerrados	☐	☐	☐	
Recipientes para residuos químicos debidamente manipulados y almacenados	☐	☐	☐	
Recipientes para objetos cortantes y punzantes debidamente utilizados y eliminados	☐	☐	☐	
Ausencia de basura en el suelo	☐	☐	☐	
Procedimientos de eliminación de residuos expuestos en el laboratorio	☐	☐	☐	
Programas de salud y seguridad en el trabajo				
Comunicación de riesgos	☐	☐	☐	
Protección respiratoria	☐	☐	☐	
Conservación de la audición	☐	☐	☐	
Vigilancia del formaldehído	☐	☐	☐	
Vigilancia del óxido de etileno	☐	☐	☐	
Vigilancia de gases anestésicos	☐	☐	☐	
Controles técnicos generales				
La presión en el laboratorio es negativa respecto de las zonas de ocupación general, los pasillos y las oficinas	☐	☐	☐	

8. DIRECTRICES PARA LA CERTIFICACIÓN DE LABORATORIOS E INSTALACIONES

COMPROBADO (FECHA)	SÍ	NO	N/A	OBSERVACIONES
Los sumideros de las pilas actúan como respiraderos	☐	☐	☐	
Se dispone de lavabo para las manos	☐	☐	☐	
Piezas de maquinaria al aire (poleas, ruedas dentadas)	☐	☐	☐	
La línea de vacío tiene filtros y sifones en las mesas de trabajo	☐	☐	☐	
Riesgo de reflujo al suministro de agua	☐	☐	☐	
Sistemas de agua destilada en buen estado	☐	☐	☐	
Programa activo y eficaz de control de artrópodos y roedores	☐	☐	☐	
Prácticas y procedimientos generales				
Los alimentos para consumo humano se guardan fuera del laboratorio	☐	☐	☐	
Los hornos de microondas están claramente rotulados: «Prohibida la preparación de alimentos. Uso exclusivo del laboratorio»	☐	☐	☐	
En el laboratorio se come, se bebe, se fuma o se aplican cosméticos	☐	☐	☐	
Recipientes de vidrio presurizados sellados con cinta adhesiva o protegidos (purgadores de vacío)	☐	☐	☐	
Prohibición de pipetear con la boca	☐	☐	☐	
Dispositivos mecánicos de pipeteo disponibles y en uso	☐	☐	☐	
Ropa protectora de laboratorio almacenada en lugar distinto de la ropa de calle	☐	☐	☐	
Organización general del laboratorio				
Recipientes de vidrio en el suelo	☐	☐	☐	
Riesgos evidentes de tropezarse	☐	☐	☐	
Paños absorbentes limpios en las superficies de trabajo	☐	☐	☐	
Objetos de vidrio roto manipulados por medios mecánicos (escoba y recogedor, pinzas, etc.)	☐	☐	☐	
Protección contra incendios				
Aspersores libres y despejados	☐	☐	☐	
Inserciones abiertas en paredes, techos, suelos, etc.	☐	☐	☐	
Cables o conducciones a través del hueco de la puerta	☐	☐	☐	
Paso de anchura mínima de 1 m en el laboratorio	☐	☐	☐	
Objetos almacenados sobre las tuberías o los accesorios eléctricos	☐	☐	☐	
Exceso de combustibles almacenados en el laboratorio	☐	☐	☐	
Baños calientes a temperatura constante				
Baño equipado con nivel de agua bajo y termostato para posible sobrecalentamiento	☐	☐	☐	
Baño construido con materiales no combustibles	☐	☐	☐	
Firma del encargado de la encuesta de seguridad	Fecha de la encuesta			

N/A = no aplicable.

Cuadro 6. Laboratorio básico – nivel de bioseguridad 2: encuesta sobre la seguridad en el laboratorio. Este formulario debe emplearse junto con el anterior (nivel de bioseguridad 1)

LUGAR	FECHA			
ENCARGADO DEL LABORATORIO				
COMPROBADO (FECHA)	SÍ	NO	N/A	OBSERVACIONES
Cámara de seguridad biológica				Fecha:
Certificada en los doce meses anteriores	☐	☐	☐	Localización:
Su superficie se limpia con un desinfectante apropiado al principio y al final de cada procedimiento	☐	☐	☐	Marca:
Rejilla frontal y filtro de salida sin obstrucciones	☐	☐	☐	Tipo:
Uso de llamas desnudas dentro de la cámara	☐	☐	☐	N° de serie:
La línea de vacío dispone de filtros y sifones con desinfectante	☐	☐	☐	
Posición incorrecta en relación con las corrientes de aire en la sala	☐	☐	☐	
Se utiliza cuando hay posibilidad de que se generen aerosoles ..	☐	☐	☐	
Laboratorio				
Acceso limitado y restringido al personal autorizado	☐	☐	☐	
Entrada limitada al personal informado de todos los riesgos	☐	☐	☐	
Signo de peligro biológico en la puerta, si procede	☐	☐	☐	
• Información del signo exacta y actualizada	☐	☐	☐	
• Signo legible y no borrado	☐	☐	☐	
Todas las puertas cerradas	☐	☐	☐	
Descontaminación				
Descontaminante específico para el organismo que se esté usando	☐	☐	☐	
Informe al supervisor del laboratorio de todo derrame y accidente con material infeccioso	☐	☐	☐	
Utilización del descontaminante apropiado para limpiar los derrames	☐	☐	☐	
Descontaminación de las superficies de trabajo antes y después de cada operación, todos los días y tras cualquier derrame	☐	☐	☐	
Manipulación de desechos contaminados				
Los recipientes de desechos infecciosos se utilizan debidamente	☐	☐	☐	
Los recipientes están excesivamente llenos	☐	☐	☐	
Los recipientes están debidamente rotulados y cerrados	☐	☐	☐	
Los cultivos y otros desechos reglamentados se descontaminan correctamente antes de eliminarlos	☐	☐	☐	
Los materiales descontaminados fuera del laboratorio se transportan en recipientes cerrados, duraderos y estancos, conformes con las normas y reglamentaciones locales	☐	☐	☐	
Los desechos mixtos se descontaminan biológicamente antes de ser eliminados como residuos químicos o radiológicos ...	☐	☐	☐	

8. DIRECTRICES PARA LA CERTIFICACIÓN DE LABORATORIOS E INSTALACIONES

COMPROBADO (FECHA)	SÍ	NO	N/A	OBSERVACIONES
Protección personal				
Se recuerdan al personal del laboratorio las inmunizaciones/ pruebas apropiadas para los agentes que se manejan	☐	☐	☐	
Se recurre a los servicios médicos apropiados para las evaluaciones médicas, la vigilancia y el tratamiento de la exposición ocupacional	☐	☐	☐	
Se utilizan guantes cuando se maneja material infeccioso o equipo contaminado	☐	☐	☐	
Se usa protección facial cuando se trabaja con material infeccioso fuera de la CSB	☐	☐	☐	
Se lavan las manos después de retirar los guantes o de trabajar con agentes infecciosos y antes de salir del laboratorio	☐	☐	☐	
Agente antimicrobiano disponible para primeros auxilios inmediatos	☐	☐	☐	
Prácticas				
Se utiliza la CSB cuando hay la posibilidad de que se generen aerosoles infecciosos o salpicaduras	☐	☐	☐	
Se ha preparado y adoptado un manual de bioseguridad	☐	☐	☐	
El personal lee, revisa y sigue las instrucciones sobre prácticas y procedimientos (obligatorio una vez al año para todo el personal)	☐	☐	☐	
Se aplican procedimientos para reducir al mínimo los aerosoles y salpicaduras	☐	☐	☐	
Se utilizan jeringuillas con vaina fija protectora de la aguja o jeringuillas con aguja fija de un solo uso	☐	☐	☐	
Los cestillos y rotores de centrifugadora se abren solamente dentro de la CSB	☐	☐	☐	
Las muestras infecciosas se transportan fuera de la CSB en recipientes aprobados, siguiendo las normas de transporte aprobadas	☐	☐	☐	
Instalaciones				
Lavabo para las manos disponible cerca de la salida del laboratorio	☐	☐	☐	
Firma del encargado de la encuesta de seguridad Fecha de la encuesta				

N/A = no aplicable. CSB = cámara de seguridad biológica.

Cuadro 7. Laboratorio de contención – nivel de bioseguridad 3: encuesta sobre la seguridad en el laboratorio.

Este formulario debe emplearse junto con los dos anteriores (niveles de bioseguridad 1 y 2)

LUGAR	FECHA			
ENCARGADO DEL LABORATORIO				
COMPROBADO (FECHA)	SÍ	NO	N/A	OBSERVACIONES
Instalaciones				
El laboratorio está separado de la circulación general del edificio	☐	☐	☐	
El acceso al laboratorio se hace por una antesala con puertas de cierre automático	☐	☐	☐	
Todas las aberturas del laboratorio están selladas o pueden cerrarse herméticamente para la descontaminación	☐	☐	☐	
El aire del laboratorio se evacua en un solo sentido y a distancia de las zonas ocupadas	☐	☐	☐	
Se dispone de un sistema de ventilación controlado para vigilar la dirección de la corriente de aire	☐	☐	☐	
Protección personal				
En el laboratorio se usan batas sin aberturas delanteras	☐	☐	☐	
La ropa de protección sólo se usa en las zonas de laboratorio...	☐	☐	☐	
Los grifos del lavabo se accionan con el pie, el codo o son automáticos	☐	☐	☐	
Protección de las manos				
Se usan guantes dobles para manejar material infeccioso y equipo o superficies de trabajo potencialmente contaminados	☐	☐	☐	
Protección respiratoria				
Todo el personal lleva protección respiratoria en el laboratorio mientras los aerosoles no están contenidos de forma segura en la CSB	☐	☐	☐	
Prácticas				
Se protegen las mucosas cuando se trabaja con material infeccioso fuera de una CSB	☐	☐	☐	
Se informa al personal sobre los riesgos especiales asociados a los agentes con los que se trabaja	☐	☐	☐	
El personal está obligado a leer y aplicar todas las instrucciones sobre prácticas y procedimientos	☐	☐	☐	
El personal recibe actualizaciones anuales o formación complementaria para los cambios de procedimiento	☐	☐	☐	
Todos los residuos contaminados se tratan en la autoclave antes de eliminarlos	☐	☐	☐	
Firma del encargado de la encuesta de seguridad	Fecha de la encuesta			

N/A = no aplicable. CSB = cámara de seguridad biológica.

PARTE II

Bioprotección en el laboratorio

9. Conceptos de bioprotección en el laboratorio

En ediciones anteriores, el *Manual de bioseguridad en el laboratorio* se ha centrado en las orientaciones tradicionales en materia de seguridad biológica para los laboratorios. En ellas se hacía hincapié en el uso de prácticas microbiológicas correctas, el equipo de contención apropiado, el diseño, la operación y el mantenimiento de las instalaciones, y los aspectos administrativos para reducir al mínimo el riesgo de lesiones o enfermedades entre el personal. Con la aplicación de esas recomendaciones, el riesgo para el medio ambiente y para la comunidad circundante también se reduce al mínimo. Sin embargo, los acontecimientos mundiales recientes han puesto de relieve la necesidad de proteger los laboratorios y los materiales que contienen de acciones que puedan perjudicar a las personas, el ganado, la agricultura o el medio ambiente. Antes de definir las necesidades de un laboratorio o un programa en materia de bioprotección, es preciso definir claramente la distinción entre «seguridad biológica» y «protección biológica».

«Seguridad biológica» (o «bioseguridad») es el término utilizado para referirse a los principios, técnicas y prácticas aplicadas con el fin de evitar la exposición no intencional a patógenos y toxinas, o su liberación accidental. En cambio, la «protección biológica» (o «bioprotección») se refiere a las medidas de protección de la institución y del personal destinadas a reducir el riesgo de pérdida, robo, uso incorrecto, desviaciones o liberación intencional de patógenos o toxinas.

Un programa de bioprotección debe apoyarse en un programa sólido de seguridad biológica. Mediante las evaluaciones del riesgo realizadas como parte integral del programa de bioseguridad de la institución, se acopia información sobre el tipo de organismos utilizados, su localización, el personal que necesita tener acceso a ellos y las personas responsables de ellos. Esa información puede utilizarse para determinar si la institución posee materiales biológicos de interés para quienes puedan querer usarlos incorrectamente. Deben elaborarse normas nacionales que reconozcan y definan la responsabilidad que tienen los países y las instituciones de proteger las muestras, patógenos y toxinas para que no sean utilizados de forma incorrecta.

Debe prepararse y aplicarse un programa de bioprotección específico para cada centro, teniendo en cuenta los requisitos del centro, el tipo de trabajo de laboratorio que se realiza y las condiciones locales. En consecuencia, las actividades de bioprotección en el laboratorio deben ser representativas de las diferentes necesidades de la

institución y tener en cuenta la información proporcionada por los directores científicos, los investigadores principales, los funcionarios de bioseguridad, el personal científico del laboratorio, el personal de mantenimiento, los administradores, el personal de tecnología de la información y, cuando proceda, de los organismos responsables del cumplimiento de la ley y del personal de seguridad.

Las medidas de protección biológica del laboratorio deben basarse en un programa integral de rendición de cuentas sobre los patógenos y las toxinas que incluya un inventario actualizado donde figure el lugar de almacenamiento, la identificación del personal que dispone de acceso, la descripción del uso, la documentación de las transferencias internas o externas, dentro de un mismo centro y entre diferentes centros, y cualquier inactivación y/o eliminación de los materiales. Del mismo modo, debe instaurarse un protocolo institucional de bioprotección en el laboratorio, destinado a identificar, notificar, investigar y corregir los incumplimientos de las normas de bioprotección del laboratorio, incluidas las discrepancias en los resultados de los inventarios. La participación y los papeles y responsabilidades de las autoridades de salud pública y de seguridad en caso de infracción de las normas de protección deben estar claramente definidas.

Se proporcionará capacitación específica en materia de bioprotección, además de la relativa a la seguridad biológica, a todo el personal. Esa capacitación ayudará al personal a comprender la necesidad de proteger esos materiales y los fundamentos de las medidas concretas de bioprotección, y deberá incluir un examen de las normas nacionales y de los procedimientos específicos de la institución que sean pertinentes. Durante la capacitación también se deben presentar procedimientos que describan los papeles y las responsabilidades del personal en lo relativo a la protección, en caso de infracción de las normas.

La idoneidad profesional y ética para trabajar con patógenos peligrosos por parte de todo el personal que disponga de autorización de acceso regular a materiales sensibles es otro componente fundamental de las actividades eficaces de bioprotección en el laboratorio.

En resumen, las precauciones relacionadas con la protección deben formar parte de la rutina de trabajo en el laboratorio, exactamente igual que las técnicas asépticas y otras prácticas microbiológicas seguras. Las medidas de bioprotección no deben dificultar el intercambio eficiente de materiales de referencia, de muestras clínicas y epidemiológicas ni de la información conexa necesaria para las investigaciones clínicas o de salud pública. Una gestión competente de la protección no tiene por qué interferir indebidamente con las actividades cotidianas del personal científico ni ser un impedimento para la actividad investigadora. Se debe proteger el acceso legítimo a materiales clínicos y de investigación importantes. La evaluación de la idoneidad del personal, la formación específica en temas de protección y el cumplimiento riguroso de los procedimientos de protección de los patógenos constituyen formas razonables de incrementar la bioprotección en el laboratorio. Todas estas medidas deben ser establecidas y mantenidas mediante evaluaciones periódicas de los riesgos y las ame-

nazas y mediante una revisión y actualización periódica de los procedimientos. Las comprobaciones del cumplimiento de estos procedimientos, con instrucciones claras sobre los papeles, las responsabilidades y las medidas correctoras, deben formar parte integral de los programas de bioprotección del laboratorio y de las normas nacionales sobre la bioprotección en el laboratorio.

PARTE III

Equipo de laboratorio

10. Cámaras de seguridad biológica

Las CSB están diseñadas para proteger al trabajador, la atmósfera del laboratorio y los materiales de trabajo de la exposición a las salpicaduras y los aerosoles infecciosos que pueden generarse al manipular material que contiene agentes infecciosos, como cultivos primarios, soluciones madre y muestras de diagnóstico. Los aerosoles se producen en cualquier actividad que transmita energía a un material líquido o semilíquido, por ejemplo, al agitarlo, verterlo a otro recipiente, removerlo o verterlo sobre una superficie o sobre otro líquido. Las actividades como la siembra de placas de agar, la inoculación de frascos de cultivo celular con pipeta, el uso de pipetas múltiples para dispensar suspensiones líquidas de agentes infecciosos en placas de microcultivo, la homogeneización y la agitación vorticial de material infeccioso, y la centrifugación de líquidos infecciosos o el trabajo con animales pueden generar aerosoles infecciosos. Las partículas de aerosol de menos de $5\mu\text{m}$ de diámetro y las pequeñas gotículas de 5 a $100\mu\text{m}$ de diámetro no son visibles a simple vista. El trabajador no suele darse cuenta de que se están produciendo esas partículas, que pueden ser inhaladas o provocar la contaminación cruzada de los materiales que se encuentran sobre las superficies de trabajo. Las CSB, cuando se utilizan debidamente, han demostrado ser sumamente eficaces para reducir las infecciones adquiridas en el laboratorio y la contaminación cruzada de cultivos por exposición a aerosoles. Las CSB también protegen la atmósfera del laboratorio.

A lo largo de los años, el diseño básico de las CSB ha sufrido varias modificaciones. Un cambio importante fue la adición de un filtro HEPA. Los filtros HEPA retienen el 99,97% de las partículas de $0,3\mu\text{m}$ de diámetro y el 99,99% de las partículas de tamaño mayor o menor; esto les permite retener eficazmente todos los agentes infecciosos conocidos y garantizar que de la cámara sólo sale aire exento de microorganismos. Una segunda modificación del diseño consistió en dirigir hacia la superficie de trabajo aire que haya pasado por filtros HEPA, con el fin de proteger de la contaminación los materiales de esa superficie. Esta característica a menudo se conoce como protección del producto. Estos conceptos de diseño básicos han llevado a la evolución de tres clases de CSB. En el cuadro 8 se explica el tipo de protección que ofrece cada una de ellas.

Nota. Las cabinas de flujo de aire horizontal y vertical («bancos de trabajo de aire limpio») **no** son CSB y no deben emplearse como tal.

Cuadro 8. Selección de una cámara de seguridad biológica (CSB) según el tipo de protección necesaria

TIPO DE PROTECCIÓN	SELECCIÓN DE LA CSB
Protección personal, microorganismos de los grupos de riesgo 1 a 3	Clase I, clase II, clase III
Protección personal, microorganismos del grupo de riesgo 4, laboratorio para trabajar con cámara de guantes	Clase III
Protección personal, microorganismos del grupo de riesgo 4, laboratorio para trabajar con trajes especiales	Clase I, clase II
Protección del producto	Clase II, clase III sólo si incluye flujo laminar
Protección contra cantidades mínimas de sustancias químicas/ radionúclidos volátiles	Clase IIB1, clase IIA2 ventilada hacia el exterior
Protección contra sustancias químicas/ radionúclidos volátiles	Clase I, clase IIB2, clase III

Cámaras de seguridad biológica de clase I

En la figura 6 aparece un esquema de una CSB de clase I. El aire de la sala entra por la abertura delantera a una velocidad mínima de 0,38 m/s, pasa por encima de la superficie de trabajo y sale de la cámara por el conducto de extracción. La corriente de aire arrastra las partículas de aerosol que puedan generarse en la superficie de trabajo, alejándolas del trabajador y dirigiéndolas hacia el conducto de extracción. La abertura frontal permite que los brazos del trabajador lleguen a la superficie de trabajo del interior de la cámara mientras observa la superficie a través de una ventana de cristal. Esta ventana también puede levantarse por completo para tener acceso a la superficie de trabajo para limpiarla o con otros fines.

El aire procedente de la cámara se evacua a través de un filtro HEPA: a) al laboratorio y a continuación al exterior del edificio a través del sistema de evacuación de aire del edificio; b) al exterior a través del sistema de evacuación de aire del edificio, o c) directamente al exterior. El filtro HEPA puede estar situado en la cámara de distribución del extractor de la CSB o en la salida de aire del edificio. Algunas CSB de clase I llevan integrado un ventilador de extracción, mientras que otras funcionan con el ventilador de evacuación de aire del sistema general del edificio.

La CSB de clase I fue la primera CSB reconocida, y debido a la sencillez de su diseño sigue teniendo un uso muy extendido en todo el mundo. Su ventaja es que proporciona protección tanto personal como ambiental y también puede utilizarse para trabajar con radionúclidos y sustancias químicas tóxicas volátiles. Como se hace pasar



Figura 6. **Esquema de una cámara de seguridad biológica de clase I.**

A: abertura frontal; B: ventana de cristal; C: filtro HEPA de salida; D: cámara de distribución del extractor

aire de la sala, sin esterilizar, sobre la superficie de trabajo, se considera que no ofrece una protección fiable del producto.

Cámaras de seguridad biológica de clase II

A medida que fue aumentando el uso de cultivos celulares y tisulares para la propagación de virus y otros fines, dejó de considerarse satisfactorio que el aire no esterilizado de la sala pasara por encima de la superficie de trabajo. Además de proporcionar protección personal, las CSB de clase II protegen del aire contaminado del local a los materiales de la superficie de trabajo. Las CSB de clase II, de las que hay cuatro tipos (A1, A2, B1 y B2), difieren de las CSB de clase I en que sólo permiten que entre en contacto con la superficie de trabajo aire que ha pasado por un filtro HEPA (aire estéril). Las CSB de clase II pueden utilizarse para trabajar con agentes infecciosos de los grupos de riesgo 2 y 3, y también con agentes infecciosos del grupo de riesgo 4, siempre que se utilicen trajes presurizados.

Cámaras de seguridad biológica de clase II tipo A1

Estas cámaras se representan en la figura 7. Un ventilador interno succiona aire de la sala (aire de entrada) hacia la cámara a través de la abertura frontal y lo dirige hacia la rejilla frontal de entrada. La velocidad de esta corriente de aire debe ser de al menos 0,38 m/s a la altura de la abertura frontal. Ese aire pasa a continuación por un filtro HEPA antes de dirigirse, descendiendo verticalmente, hacia la superficie de trabajo.

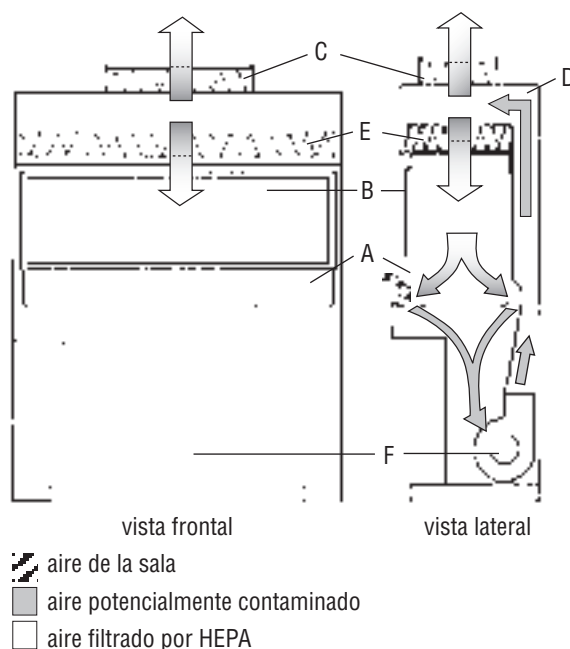


Figura 7. **Esquema de una cámara de seguridad biológica de clase II tipo A1.**

A: abertura frontal; B: ventana; C: filtro HEPA de salida; D: cámara de distribución trasera; E: filtro HEPA de suministro; F: ventilador

A medida que el aire desciende, se «divide» a unos 6–18 cm de la superficie de trabajo, de modo que la mitad pasa a través de la rejilla de extracción delantera y la otra mitad por la rejilla de extracción trasera. Toda partícula de aerosol que se genere en la superficie de trabajo es inmediatamente capturada por esta corriente de aire descendente y pasa a través de la rejilla de evacuación delantera o trasera, con lo que se consigue el máximo nivel de protección del producto. A continuación el aire se evacua a través de la cámara de distribución posterior hacia el espacio comprendido entre los filtros de suministro y de evacuación situados en la parte superior de la cámara. Debido al tamaño relativo de estos filtros, alrededor del 70% del aire vuelve a circular a través del filtro HEPA de suministro y regresa a la zona de trabajo; el 30% restante pasa a través del filtro de evacuación hacia la sala o el exterior.

El aire de salida de este tipo de cámara puede reciclarse en la sala o evacuarse al exterior del edificio a través de un acoplador de tipo «dedal» conectado a un conducto destinado exclusivamente a este fin o a través del sistema de evacuación de aire del edificio.

El reciclaje del aire de salida hacia la sala tiene la ventaja de reducir los gastos de combustible del edificio, ya que no se evacua aire caliente o frío a la atmósfera exterior. La conexión a los conductos del sistema de evacuación de aire también permite

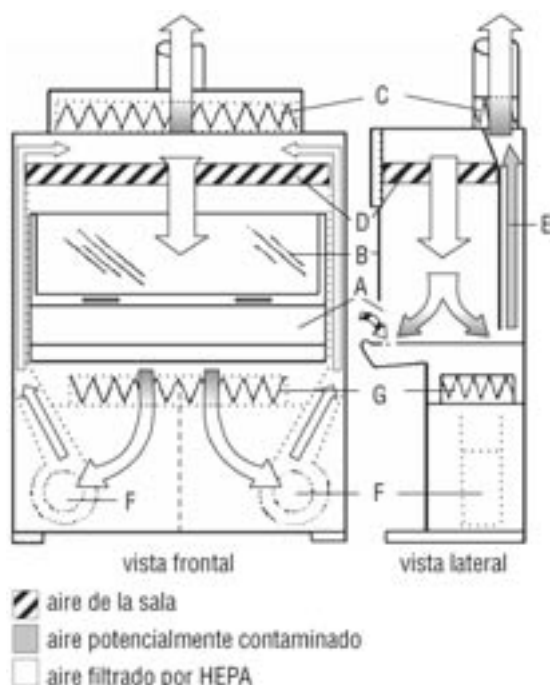


Figura 8. **Esquema de una cámara de seguridad biológica de clase IIB1.**

A: abertura frontal; B: ventana; C: filtro HEPA de salida; D: filtro HEPA de entrada; E: cámara de distribución de salida con presión negativa; F: ventilador; G: filtro HEPA para el aire de entrada. La salida de aire de la cámara debe estar conectada al sistema de evacuación de aire del edificio.

utilizar algunas CSB para trabajar con radionúclidos volátiles y sustancias químicas tóxicas volátiles (cuadro 8).

Cámaras de clase II de tipo A2 con salida al exterior, y de tipo B1 y B2

Las CSB de clase IIA2 con salida al exterior, IIB1 (Figura 8) y IIB2 son variaciones del tipo IIA1. Sus características, junto con las de las CSB de las clases I y III, se indican en el cuadro 9. Cada una de esas variaciones permite utilizar la CSB para fines específicos (véase el cuadro 8). Estas CSB se distinguen entre sí en varios aspectos: la velocidad de entrada del aire por la abertura frontal; la cantidad de aire que se vuelve a hacer pasar por la superficie de trabajo y que sale de la cámara; el sistema de extracción de aire, que determina si el aire se evacua hacia la sala o al exterior por su propio sistema de evacuación o por el sistema de evacuación de aire del edificio; y las presiones en el interior de la cámara (en unas los conductos y las cámaras de distribución cargados de aire biológicamente contaminado están bajo presión negativa, o están rodeados por conductos y cámaras de distribución bajo presión negativa).

Cuadro 9. Diferencias entre las cámaras de seguridad biológica de las clases I, II y III

CSB	VELOCIDAD EN LA ABERTURA FRONTAL (m/s)	FLUJO DE AIRE (%)		SISTEMA DE EVACUACIÓN
		RECIRCULADO	EVACUADO	
Clase I ^a	0,36	0	100	Conducto rígido
Clase IIA1	0,38–0,51	70	30	Extracción a la sala o a un acoplador de tipo «dedal»
Clase IIA2 con salida al exterior ^a	0,51	70	30	Extracción a la sala o a un acoplador de tipo «dedal»
Clase IIB1 ^a	0,51	30	70	Conducto rígido
Clase IIB2 ^a	0,51	0	100	Conducto rígido
Clase III ^a	NA	0	100	Conducto rígido

NA: No aplicable.

^a Todos los conductos biológicamente contaminados se encuentran bajo presión negativa o están rodeados por conductos y *cámaras de distribución* con presión negativa.

En las referencias 7 y 8 y en los prospectos informativos que proporcionan los fabricantes pueden encontrarse las descripciones completas de las distintas cámaras de clase IIA y IIB.

Cámaras de seguridad biológica de clase III

Este tipo de cámaras (figura 9) es el que proporciona mayor nivel de protección personal y se utiliza para trabajar con agentes del grupo de Riesgo 4. Todos los orificios están sellados para impedir el paso de gases. El aire de entrada es filtrado por HEPA y el aire de salida pasa por dos filtros HEPA. La corriente de aire se mantiene mediante un sistema de extracción propio en el exterior de la cámara, que mantiene el interior de ésta a una presión negativa (alrededor de 124,5 Pa). El acceso a la superficie de trabajo se hace mediante guantes de goma gruesa, conectados a unos orificios en la cámara. La cámara debe tener una caja de paso que pueda esterilizarse y vaya equipada con una salida de aire provista de un filtro HEPA. Puede ir conectada a una autoclave de doble puerta en la que se descontaminará todo el material que entre o salga de la cámara. Pueden unirse varias cámaras de guantes para ampliar la superficie de trabajo. Las CSB de clase III son idóneas para los laboratorios de los niveles de bioseguridad 3 y 4.

Conexiones de aire de las cámaras de seguridad biológica

Las CSB de las clases IIA1 y IIA2 con salida al exterior están pensadas para tener conexiones mediante acopladores de tipo «dedal» o de tipo «campana en dosel». El «dedal»

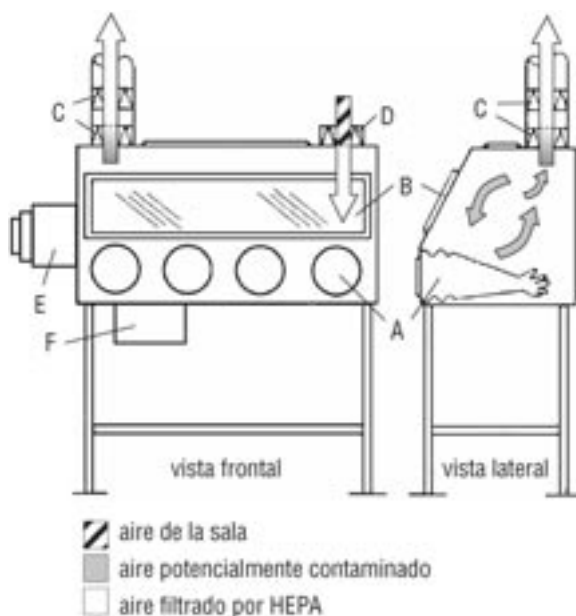


Figura 9. **Esquema de una cámara de seguridad biológica de clase III (cámara de guantes).** A: orificios para guantes del largo de un brazo; B: ventana; C: dobles filtros HEPA de salida; D: filtro HEPA de entrada; E: autoclave de doble puerta o caja de paso; F: tanque de inmersión química. La salida del aire de la cámara debe estar conectada a un sistema independiente de extracción de aire del edificio.

se ajusta a la salida de aire de la cámara dejando un espacio libre de unos 2,5 cm de diámetro. Este pequeño espacio permite succionar aire de la sala también hacia el sistema de evacuación de aire del edificio. La capacidad del sistema de evacuación del edificio debe ser suficiente para captar aire procedente tanto de la sala como de la cámara. El «dedal» debe ser extraíble o estar diseñado para permitir las pruebas de funcionamiento de la cámara. En general, el rendimiento de una cámara conectada mediante un «dedal» no se ve muy afectado por las fluctuaciones en la corriente de aire del edificio.

Las CSB de las clases IIB1 y IIB2 están conectadas por conductos rígidos, es decir sólidamente conectadas sin abertura de ninguna clase, al sistema de evacuación del edificio o, preferiblemente, a un sistema de conductos de extracción propios. El sistema de evacuación del edificio debe adaptarse con precisión a los requisitos de flujo de aire especificados por el fabricante tanto en relación con el volumen como con la presión estática. La certificación de las CSB conectadas por conductos rígidos lleva mucho más tiempo que la de las CSB que reciclan el aire hacia la sala o de las que llevan acopladores de tipo «dedal».

Elección de una cámara de seguridad biológica

La elección de una CSB depende primordialmente del tipo de protección que se necesite: protección del producto, protección del personal frente a microorganismos de los grupos de riesgo 1 a 4, protección del personal frente a la exposición a radionúclidos y sustancias químicas tóxicas volátiles, o una combinación de todas ellas. En el cuadro 8 se muestra qué CSB se recomienda para cada tipo de protección.

No deben utilizarse sustancias químicas tóxicas o volátiles en las CSB que reciclan el aire de salida hacia la sala, es decir las de clase I no conectadas al sistema de evacuación de aire del edificio, o las de clase II A1 y A2. Las de clase IIB1 son aceptables para trabajar con cantidades muy reducidas de sustancias químicas volátiles y radionúclidos. Cuando esté previsto utilizar cantidades importantes de radionúclidos y sustancias químicas volátiles es necesario utilizar una CSB de clase IIB2, también denominada cámara de extracción total de aire.

Uso de las cámaras de seguridad biológica en el laboratorio

Localización

La velocidad del aire que ingresa en la CSB por la abertura frontal es de unos 0,45 m/s. A esta velocidad, la integridad del flujo direccional del aire de entrada es frágil y puede verse fácilmente perturbada por las corrientes de aire que generan el movimiento de personas en las proximidades de la cámara, las ventanas abiertas, los registros del suministro de aire y la apertura y cierre de puertas. Lo más conveniente es situar la CSB en un lugar alejado de la circulación del personal y de corrientes de aire que puedan provocar perturbaciones. Siempre que sea posible debe dejarse un espacio de 30 cm por detrás y a ambos lados de la cámara con el fin de poder acceder fácilmente a todas las partes de la cámara para las labores de mantenimiento. Por encima de la CSB conviene dejar un espacio de 30 a 35 cm que permita medir debidamente la velocidad del aire a través del filtro de salida y cambiar este filtro.

Trabajadores

Si las CSB no se usan correctamente, sus efectos protectores pueden verse gravemente disminuidos. Los trabajadores deben tener cuidado de mantener la integridad del flujo de entrada de aire por la abertura frontal al meter y sacar los brazos de la cámara. Los brazos deben moverse con lentitud, perpendicularmente a la abertura frontal. Es conveniente esperar aproximadamente un minuto después de meter las manos y los brazos en la cámara antes de comenzar a manipular el material, con el fin de permitir que la cámara se ajuste y el aire barra las manos y los brazos. El número de movimientos a través de la abertura frontal también debe reducirse al mínimo colocando todo el material necesario en el interior antes de comenzar las manipulaciones.

Colocación del material

La rejilla frontal de entrada de las CSB de clase II no debe estar bloqueada con papeles, instrumental ni otros objetos. La superficie de los materiales que haya que colocar en el interior de la cámara debe descontaminarse con alcohol al 70%. El trabajo puede

realizarse sobre paños absorbentes empapados de desinfectante con el fin de que éstos recojan las salpicaduras y los derrames. Todos los materiales deben colocarse lo más dentro posible de la cámara, hacia el borde posterior de la superficie de trabajo, pero sin bloquear la rejilla posterior. El equipo que pueda generar aerosoles (por ejemplo mezcladoras, centrifugadoras) debe colocarse hacia la parte posterior de la cámara. Los artículos voluminosos, como las bolsas específicas para material biológico peligroso, las bandejas de pipetas desechadas y los frascos de succión deben colocarse a un lado del interior de la cámara. El trabajo debe proceder desde las zonas limpias hacia las contaminadas a lo largo de la superficie de trabajo.

Las bolsas de recogida de material biológico peligroso para la autoclave y la bandeja de recogida de pipetas no deben colocarse fuera de la cámara. Los frecuentes movimientos de entrada y salida necesarios para utilizar estos recipientes perturban la barrera de aire de la cámara y puede poner en peligro la protección tanto del personal como del producto.

Operación y mantenimiento

La mayoría de las CSB están diseñadas para funcionar 24 horas al día; los investigadores han llegado a la conclusión de que el funcionamiento continuo ayuda a controlar los niveles de polvo y de partículas en el laboratorio. Las CSB de clase IIA1 y IIA2 que evacúan el aire a la sala o que están conectadas por acopladores de tipo «dedal» a conductos de extracción propios pueden apagarse cuando no están en uso. Otros tipos, como las de la clase IIB1 y IIB2, que tienen instalaciones a base de conductos rígidos, deben mantener una corriente de aire en su interior en todo momento para contribuir a mantener el equilibrio del aire de la sala. Las cámaras deben encenderse al menos 5 minutos antes de comenzar el trabajo y después de terminarlo para permitir que se «purguen», es decir, dejar tiempo para que el aire contaminado sea eliminado del entorno de la cámara.

Todas las reparaciones que se hagan en una CSB debe realizarlas un técnico calificado. Cualquier fallo en el funcionamiento de la CSB debe comunicarse y repararse antes de utilizarla de nuevo.

Luz ultravioleta

Las CSB no necesitan lámparas de luz ultravioleta. Si se utilizan, las lámparas deben limpiarse una vez a la semana para quitar el polvo y la suciedad que puedan bloquear la eficacia germicida de la luz. La intensidad de la luz ultravioleta debe comprobarse cada vez que se vuelve a certificar la cámara para asegurarse de que la emisión de luz es apropiada. Las luces ultravioletas deben apagarse cuando la sala está ocupada, para proteger los ojos y la piel de exposiciones involuntarias.

Llamas desnudas

Deben evitarse las llamas desnudas en el entorno prácticamente libre de microorganismos creado dentro de la cámara. Esas llamas alteran las corrientes de aire y pueden ser peligrosas cuando se utilizan al mismo tiempo sustancias volátiles e inflamables.

Para esterilizar las asas microbiológicas, es preferible utilizar microincineradores u «hornos» eléctricos.

Derrames

Se colocará en lugar visible una copia del protocolo del laboratorio para tratar los derrames, que deberán leer y comprender todos los usuarios. Cuando se produzca un derrame de material de riesgo biológico dentro de una CSB, debe procederse de inmediato a su limpieza, mientras la cámara sigue en funcionamiento. Debe utilizarse un desinfectante eficaz y aplicarse de modo que se reduzca al mínimo la formación de aerosoles. Todos los materiales que entren en contacto con el agente derramado deben desinfectarse o tratarse en autoclave.

Certificación

El funcionamiento y la integridad de cada CSB deben ser certificados en relación con las normas de funcionamiento nacionales o internacionales en el momento de la instalación, y después de forma periódica, por técnicos cualificados y de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La evaluación de la eficacia de contención de la cámara debe incluir pruebas de la integridad de la cámara, fugas de los filtros HEPA, perfil de velocidad del flujo de aire descendente, velocidad en la abertura frontal, tasa de presión negativa/ventilación, características del flujo de aire, y alarmas e interruptores de interbloqueo. También pueden realizarse pruebas facultativas en relación con la instalación eléctrica y la intensidad de la iluminación, la luz ultravioleta, los ruidos y las vibraciones. Para llevar a cabo estas pruebas se requieren capacitación, conocimientos y equipos especiales; es sumamente recomendable que las haga un profesional cualificado.

Limpieza y desinfección

Todos los artículos que entren en una CSB, incluido el material de laboratorio, deben tener su superficie descontaminada y sacarse de la cámara una vez terminado el trabajo, ya que los medios de cultivo residuales pueden permitir la proliferación de microbios.

Las superficies internas de las CSB deben descontaminarse antes y después de cada uso. Las superficies de trabajo y las paredes internas deben limpiarse con un paño empapado en un desinfectante que elimine los microorganismos que pudiera haber. Al final del día de trabajo, la descontaminación final de las superficies debe incluir la limpieza de la superficie de trabajo, los laterales, la cara posterior y el interior de la ventana de cristal. Para los organismos sensibles se utilizará una solución de lejía o alcohol al 70%. Después habrá que pasar de nuevo un paño con agua estéril cada vez que se utilice un desinfectante corrosivo, como la lejía.

Se recomienda dejar la cámara en funcionamiento. En caso contrario, antes de apagarla habrá que dejarla funcionando durante 5 minutos para purgar la atmósfera interior.

Descontaminación

Las CSB deben descontaminarse antes de los cambios de filtro y antes de cambiarlas de sitio. El método de descontaminación más común es la fumigación con formaldehído gaseoso. La descontaminación de las CSB debe ser realizada por un profesional cualificado.

Equipo de protección personal

Siempre que use una CSB, el trabajador deberá llevar prendas de protección personal. Las batas de laboratorio son aceptables para trabajar en los niveles de bioseguridad 1 y 2. En los niveles de bioseguridad 3 y 4 (salvo en los laboratorios diseñados para trabajar con trajes especiales) deben usarse batas de frente cerrado, abrochadas por detrás, que protegen mejor. Los guantes deben estirarse bien por encima de las mangas de la bata, en lugar de meterlos por debajo. Pueden usarse mangas con elástico para proteger las muñecas del investigador. Para algunos procedimientos pueden hacer falta mascarillas y gafas de seguridad.

Alarmas

Las CSB pueden ir equipadas con uno de los dos tipos siguientes de alarma. Las alarmas de abertura, que sólo se encuentran en las cámaras que llevan ventanas de cristal correderas; indican que el trabajador ha colocado el cristal en posición incorrecta, y se detienen cuando el cristal está debidamente colocado. Las alarmas de flujo de aire señalan perturbaciones de las características normales del flujo de aire en la cámara que representan un peligro inmediato para el trabajador o el producto. Cuando suene esta alarma, se interrumpirá inmediatamente el trabajo y se avisará al supervisor del laboratorio. Los manuales de instrucciones del fabricante deben dar más detalles. La capacitación para el uso de CSB debe incluir este aspecto.

Información complementaria

La elección del tipo correcto de CSB, su instalación y uso correctos y la certificación anual de su funcionamiento son procesos complejos. Se recomienda que todos ellos se hagan bajo la supervisión de un profesional de la seguridad biológica bien adiestrado y con experiencia. Este profesional debe estar bien familiarizado con las publicaciones pertinentes enumeradas en la sección de Referencias y debe haber recibido capacitación en todos los aspectos de las CSB. Los trabajadores deben recibir capacitación formal sobre el funcionamiento y el manejo de las CSB.

Si se desea más información, consúltense las referencias 5 y 7 a 16, y el capítulo 11.

11. Equipo de seguridad

Habida cuenta de que los aerosoles son importantes fuentes de infección, debe tenerse cuidado de reducir su formación y dispersión. Muchas operaciones de laboratorio generan aerosoles peligrosos, como mezclar, triturar, agitar, remover, someter a ultrasonidos o centrifugar material infeccioso. Aunque se utilice equipo seguro, es preferible efectuar esas operaciones en una CSB siempre que sea posible. Las CSB, su uso y las pruebas a que deben someterse, se examinan en el capítulo 10. El uso de equipo de seguridad no garantiza la protección, a menos que el trabajador esté adiestrado en su uso y aplique las técnicas apropiadas. El equipo debe probarse con regularidad para asegurarse de que sigue siendo seguro.

En el cuadro 10 aparece una lista de comprobación del equipo de seguridad diseñado para eliminar o reducir ciertos peligros y se exponen brevemente las características que determinan la seguridad. En las páginas que siguen se ofrecen más detalles sobre gran parte de ese material. En el capítulo 12 puede encontrarse más información acerca del uso apropiado de ese equipo.

En el anexo 4 se ofrece información sobre el equipo y las operaciones que pueden entrañar un peligro.

Cámaras aislantes de material flexible y presión negativa

Las cámaras aislantes de material flexible y presión negativa son dispositivos autoportantes de contención primaria que ofrecen máxima protección frente a materiales biológicos peligrosos. Pueden colocarse sobre un soporte móvil. El banco de trabajo está totalmente encerrado en una envoltura de cloruro de polivinilo (PVC) transparente, suspendida de un marco de acero. La cámara aislante se mantiene a una presión interna inferior a la atmosférica. El aire de entrada pasa a través de un filtro HEPA y el de salida a través de dos filtros HEPA, lo que hace innecesario conducir el aire evacuado hacia el exterior del edificio. El aislador puede equiparse con una incubadora, un microscopio y otro material de laboratorio, como centrifugadoras, jaulas de animales o bloques térmicos, entre otros. El material se introduce y se extrae de la cámara aislante a través de aberturas especiales, de modo que no se pone en peligro la seguridad microbiológica. Las manipulaciones se realizan utilizando mangas largas con guantes desechables incorporados. La caja lleva un manómetro para vigilar la presión de la envoltura.

Cuadro 10. Equipo de bioseguridad

EQUIPO	PELIGRO EVITADO	CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD
Cámaras de seguridad biológica		
– Clase I	Aerosoles y salpicaduras	• Flujo mínimo de aire hacia el interior (velocidad frontal) en la abertura de trabajo. Filtración adecuada del aire expulsado • No protege el producto
– Clase II	Aerosoles y salpicaduras	• Flujo mínimo de aire hacia el interior (velocidad frontal) en la abertura de trabajo. Filtración adecuada del aire expulsado • Protege el producto
– Clase III	Aerosoles y salpicaduras	• Contención máxima • Protege el producto si se incluye flujo de aire laminar
Cámaras aislantes de material flexible y presión negativa	Aerosoles y salpicaduras	• Contención máxima
Pantalla contra salpicaduras	Salpicadura de sustancias químicas	• Establece una separación entre el trabajador y el trabajo
Dispositivos de pipeteo	Riesgos propios del pipeteo por succión bucal, como la ingestión de patógenos, la inhalación de aerosoles producidos por la succión bucal, expulsión de líquido o goteo de la pipeta, contaminación del extremo bucal de la pipeta	• Facilidad de empleo • Evita la contaminación del extremo bucal de la pipeta, con lo que protege el dispositivo, el usuario y el circuito de vacío • Posibilidad de esterilización • Se evita el goteo del extremo inferior de la pipeta
Microincineradores de asas, asas desechables	Salpicaduras procedentes de las asas	• Protección mediante un tubo de vidrio o cerámica, abierto por un extremo y calentado por gas o electricidad • Desechables, no necesitan calentamiento
Recipientes herméticos para recoger y transportar material infeccioso destinado a la esterilización dentro del laboratorio	Aerosoles, derrames y fugas	• Diseño hermético, con tapa • Duraderos • Posibilidad de tratarlos en la autoclave

EQUIPO	PELIGRO EVITADO	CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD
Recipientes para la eliminación de objetos cortantes y punzantes	Heridas punzantes	• Posibilidad de tratamiento en autoclave • Robustos, a prueba de perforaciones
Recipientes de transporte entre laboratorios e instituciones	Liberación de organismos	• Robustos • Recipientes primario y secundario estancos para evitar fugas • Material absorbente para enjugar los escapes
Autoclaves, manuales o automáticas	Material infeccioso (transformado en inocuo para su eliminación o reutilización)	• Diseño aprobado • Esterilización térmica eficaz
Frascos con tapón de rosca	Aerosoles y derrames	• Contención eficaz
Protección del circuito de vacío	Contaminación del sistema de vacío del laboratorio por aerosoles o rebosamiento de líquidos	• Un filtro de tipo cartucho impide el paso de aerosoles (tamaño de las partículas: $0,45\ \mu\text{m}$) • El matraz de rebosamiento contiene un desinfectante apropiado. Puede usarse una pera de goma para cortar automáticamente el vacío cuando se llena el matraz colector • Todo el sistema puede esterilizarse en la autoclave

Las cámaras aislantes de material flexible se utilizan para manipular organismos de alto riesgo (grupos de riesgo 3 ó 4) en el trabajo de campo cuando no es posible o apropiado instalar o mantener CSB convencionales.

Dispositivos de pipeteo

Para los procedimientos de pipeteo debe utilizarse siempre un dispositivo especial. El pipeteo con la boca debe estar estrictamente prohibido.

No puede insistirse bastante en la importancia de utilizar dispositivos de pipeteo. Los riesgos más comunes que entraña el uso de pipetas son resultado de la succión bucal. La aspiración por la boca y la ingestión de material peligroso han dado lugar a numerosas infecciones en los laboratorios.

También pueden transferirse agentes patógenos a la boca si se coloca un dedo contaminado en el extremo de la pipeta por el que se hace la succión. Un riesgo menos

conocido del pipeteo con la boca es la inhalación de aerosoles provocados por la succión. Los tapones de algodón no constituyen un filtro microbiano eficiente sea la presión negativa o positiva, pues permiten el paso de las partículas durante la succión. Cuando el tapón está muy apretado, se necesita una succión muy enérgica, con el consiguiente riesgo de aspirar a la vez el algodón, el aerosol e incluso el líquido. El uso de dispositivos de pipeteo permite evitar la ingestión de patógenos.

También pueden generarse aerosoles cuando el líquido de una pipeta gotea sobre una superficie de trabajo; cuando se mezclan cultivos alternando succión y soplado, y cuando se sopla por la pipeta para que salga la última gota. La inhalación de los aerosoles que inevitablemente se generan durante las operaciones de pipeteo puede evitarse trabajando en una CSB.

Los dispositivos de pipeteo deben seleccionarse con cuidado. Es importante que ni su diseño ni su modo de empleo aumenten el riesgo de infección, y que sean fáciles de esterilizar y limpiar. Deben utilizarse puntas de pipeta obturadas (resistentes a los aerosoles) cuando se manipulen microorganismos y cultivos celulares.

Las pipetas que tengan los extremos de succión agrietados o astillados deben desecharse, ya que dañan las juntas herméticas por las que se insertan en los dispositivos de pipeteo y crean un peligro.

Homogeneizadores, agitadores, mezcladores y desintegradores ultrasónicos

Los homogeneizadores domésticos (de cocina) no son herméticos y liberan aerosoles. Sólo deben utilizarse aparatos diseñados especialmente para el trabajo de laboratorio, que están contruidos de forma que se reduce al mínimo o se impide esa liberación de aerosoles. Los homogeneizadores de tipo *Stomacher*, disponibles ahora para trabajar con volúmenes grandes y pequeños, también pueden producir aerosoles.

Los homogeneizadores utilizados para los microorganismos del grupo de riesgo 3 siempre deben cargarse y abrirse en una CSB.

Los desintegradores ultrasónicos pueden liberar aerosoles. Deben manipularse en CSB o cubrirse con pantallas protectoras durante su uso. Los dispositivos protectores y la parte exterior de los desintegradores ultrasónicos deben descontaminarse después de su utilización.

Asas desechables

Las asas desechables ofrecen la ventaja de que no necesitan ser esterilizadas, por lo que pueden utilizarse en CSB, en las que los mecheros de Bunsen y los microincineradores perturbarían la corriente de aire. Estas asas deben colocarse en un desinfectante después del uso y desecharse como material contaminado (véase el capítulo 3).

Microincineradores

Los microincineradores calentados con gas o electricidad llevan protecciones de cristal de borosilicato o de cerámica que reducen al mínimo las salpicaduras y la dispersión de material infectado cuando se esterilizan las asas. Sin embargo, pueden perturbar la

corriente de aire y por consiguiente deben colocarse hacia la parte trasera de la superficie de trabajo de las CSB.

Ropas y equipo de protección personal

La vestimenta y el equipo de protección personal pueden actuar como barrera para reducir al mínimo el riesgo de exposición a aerosoles, salpicaduras e inoculación accidental. Las prendas de vestir y el equipo que se seleccionen dependen de la naturaleza del trabajo que se realice. En el laboratorio los trabajadores llevarán ropa protectora. Antes de abandonar el laboratorio, tendrán que quitarse las prendas protectoras y lavarse las manos. En el cuadro 11 se exponen algunos elementos de protección personal utilizados en laboratorios y la protección que ofrecen.

Batas, monos y delantales de laboratorio

De preferencia, las batas de laboratorio irán abotonadas hasta arriba. Sin embargo, las batas de manga larga y abertura trasera y los monos protegen mejor que las batas de abertura frontal y son preferibles en los laboratorios de microbiología y cuando se trabaja en una CSB. Los delantales pueden llevarse por encima de las batas cuando se necesite mayor protección contra el derrame de sustancias químicas o material biológico como sangre o líquidos de cultivo. Los servicios de lavandería deben encontrarse en las instalaciones o cerca de ellas.

Las batas, monos y delantales no deben usarse fuera de las zonas del laboratorio.

Gafas de seguridad y viseras

La elección del material para proteger los ojos y el rostro de salpicaduras e impactos de objetos dependerá de la actividad que se lleve a cabo. Pueden fabricarse gafas, graduadas o no, con monturas especiales que permiten colocar los cristales desde delante. Los cristales son de material irrompible y pueden ser curvos o llevar protecciones laterales (cristales de seguridad). Las gafas de patilla no protegen debidamente contra las salpicaduras ni siquiera cuando se utilizan con protecciones laterales. Las gafas de máscara para proteger contra salpicaduras e impactos deben llevarse sobre las gafas graduadas normales y las lentes de contacto (que no protegen contra los riesgos biológicos o químicos). Las viseras están hechas de plástico irrompible, se ajustan al rostro y se sujetan a la cabeza mediante cintas o una capucha.

Ninguno de estos elementos de protección debe usarse fuera del laboratorio.

Mascarillas respiratorias

La protección respiratoria puede utilizarse cuando se realizan procedimientos de alto riesgo, como limpiar un derrame de material infeccioso. El tipo de mascarilla respiratoria elegida dependerá del tipo de peligro. Existen respiradores con filtros cambiables para proteger contra gases, vapores, partículas y microorganismos. Es indispensable que el filtro esté colocado en el tipo de mascarilla adecuado. Para que la protección sea máxima, las mascarillas respiratorias deben ajustarse al rostro de

Cuadro 11. Equipo de protección personal

EQUIPO	PELIGRO EVITADO	CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD
Batas y monos de laboratorio	Contaminación de la ropa	• Abertura trasera • Cubren la ropa de calle
Delantales de plástico	Contaminación de la ropa	• Impermeables
Calzado	Impactos y salpicaduras	• Puntera cerrada
Gafas de máscara	Impactos y salpicaduras	• Lentes resistentes a los impactos (con corrección óptica o bien deben usarse sobre las lentes correctoras) • Protección lateral
Gafas de seguridad	Impactos	• Lentes resistentes a los impactos (con corrección óptica) • Protección lateral
Viseras	Impactos y salpicaduras	• Protegen todo el rostro • Se retiran fácilmente en caso de accidente
Mascarillas respiratorias	Inhalación de aerosoles	• Varios diseños disponibles: desechables, de un solo uso; purificadoras de aire, de cara entera o de media cara; purificadoras de aire eléctricas, de cara entera o con capucha; con suministro de aire
Guantes	Contacto directo con microorganismos	• De látex, vinilo o nitrilo, aprobados para uso microbiológico, desechables • Protección de las manos
	Punciones o cortes	• De malla

cada trabajador y probarse previamente. Los respiradores autónomos con suministro de aire integrado proporcionan protección completa. Para seleccionar el respirador correcto habrá que solicitar el consejo de una persona debidamente cualificada, como un especialista en higiene laboral. Las mascarillas de tipo quirúrgico están diseñadas exclusivamente para proteger a los pacientes y no ofrecen protección respiratoria a los trabajadores. Algunas mascarillas respiratorias desechables de un solo uso (ISO 13.340.30) están diseñadas para proteger de las exposiciones a agentes biológicos.

Las mascarillas respiratorias no deben usarse fuera del laboratorio.

Guantes

Las manos pueden contaminarse cuando se trabaja en el laboratorio. También son vulnerables a las heridas producidas por objetos punzantes o cortantes. Los guantes

desechables de látex, vinilo o nitrilo de tipo quirúrgico aprobados para uso microbiológico son los más extendidos para el trabajo general de laboratorio y para manipular agentes infecciosos, así como sangre y otros líquidos corporales. También pueden usarse guantes reutilizables, pero hay que lavarlos, retirarlos, limpiarlos y desinfectarlos correctamente.

Después de manipular material infeccioso o trabajar en una CSB y antes de abandonar el laboratorio es preciso retirar los guantes y lavarse las manos concienzudamente. Los guantes desechables usados deben eliminarse junto con los residuos de laboratorio infectados.

Se han notificado casos de reacciones alérgicas como dermatitis e hipersensibilidad inmediata después de usar guantes de látex, particularmente los que llevan polvo. Deberá disponerse en el laboratorio de alternativas a ese tipo de guantes.

Los guantes de malla de acero inoxidable se llevarán cuando haya posibilidad de exposición a instrumentos cortantes o punzantes (por ejemplo, durante una autopsia). No obstante, esos guantes protegen contra los cortes pero no contra las punciones.

Los guantes no deben usarse fuera de las zonas de laboratorio.

Si se desea más información, véanse las referencias 12, 17 y 18.

PARTE IV

Técnicas microbiológicas apropiadas

12. Técnicas de laboratorio

Los errores humanos, las técnicas de laboratorio incorrectas y el mal uso del equipo son la causa de la mayoría de los accidentes de laboratorio y las infecciones conexas. En el presente capítulo se compendian los métodos técnicos destinados a evitar o reducir al mínimo los accidentes más comunes provocados por esos factores.

Manipulación segura de muestras en el laboratorio

La recogida, transporte y manipulación de muestras en el laboratorio entrañan un riesgo de infección para el personal.

Recipientes para muestras

Los recipientes para muestras pueden ser de vidrio o, preferiblemente, de plástico. Deben ser fuertes y no permitir fugas cuando la tapa o el tapón estén correctamente colocados. En el exterior del recipiente no debe quedar ningún material. Los recipientes han de estar correctamente rotulados para facilitar su identificación. Los formularios de petición de examen de la muestra no se colocarán alrededor de los recipientes, sino por separado, preferiblemente en sobres impermeables.

Transporte de muestras dentro de la instalación

Para evitar fugas o derrames accidentales, deben utilizarse envases/embalajes secundarios (por ejemplo, cajas) equipados con gradillas, de modo que los recipientes que contienen las muestras se mantengan en posición vertical. Los envases/embalajes secundarios pueden ser de metal o de plástico, pero deben poderse tratar en autoclave o ser resistentes a la acción de los desinfectantes químicos; de preferencia, el cierre debe tener una junta que garantice la estanqueidad. Deberán descontaminarse periódicamente.

Recepción de las muestras

Los laboratorios que reciban un elevado número de muestras deben destinar un local o zona especial con este propósito.

Apertura de los envases/embalajes

El personal que recibe y desempaqueta las muestras debe conocer los riesgos para la salud que entraña su actividad y debe estar capacitado para adoptar precauciones

normalizadas (2), particularmente cuando manipule recipientes rotos o con fugas. Los recipientes primarios de las muestras deben abrirse en una CSB. Se dispondrá de desinfectantes.

Uso de pipetas y dispositivos de pipeteo

1. Debe utilizarse siempre un dispositivo de pipeteo. El pipeteo con la boca estará prohibido.
2. Todas las pipetas tendrán tapones de algodón para reducir la contaminación de los dispositivos de pipeteo.
3. Nunca se insuflará aire en un líquido que contenga agentes infecciosos.
4. No debe mezclarse el material infeccioso aspirando y soplando alternativamente a través de una pipeta.
5. No se expulsarán a la fuerza los líquidos de una pipeta.
6. Son preferibles las pipetas aforadas con una muesca superior y otra inferior, ya que no exigen la expulsión de la última gota.
7. Las pipetas contaminadas deben sumergirse completamente en un desinfectante adecuado contenido en un recipiente irrompible y permanecer en él durante un tiempo suficiente antes de tirarlas.
8. Debe colocarse un recipiente para las pipetas usadas dentro (no fuera) de la CSB.
9. No deben utilizarse para pipetear jeringuillas provistas de aguja hipodérmica.
- 10 En vez de agujas, existen dispositivos para abrir los frascos tapados con un diafragma que permiten usar pipetas y evitar el uso de agujas y jeringuillas hipodérmicas.
11. Para evitar la dispersión del material infeccioso que caiga accidentalmente de una pipeta, se recubrirá la superficie de trabajo con material absorbente, que se desechará como residuo infeccioso una vez utilizado.

Técnicas para evitar la dispersión de material infeccioso

1. A fin de evitar que su carga caiga prematuramente, las asas microbiológicas deben tener un diámetro de 2–3 mm y terminar en un anillo completamente cerrado. Los mangos no deben tener más de 6 cm de longitud para reducir la vibración al mínimo.
2. Para evitar el riesgo de que se produzcan salpicaduras de material infeccioso al flamear las asas en el mechero de Bunsen, se utilizará un microincinerador eléctrico cerrado para esterilizar las asas. Es preferible utilizar asas desechables que no necesitan volver a ser esterilizadas.
3. Al secar muestras de esputo debe procederse con cuidado para evitar la creación de aerosoles.
4. Las muestras y los cultivos desechados destinados a la autoclave o a la eliminación se colocarán en recipientes impermeables, como las bolsas de desechos de laboratorio. La parte superior se cerrará (por ejemplo con cinta de autoclave) antes de tirarlas a los recipientes para desechos.

5. Las zonas de trabajo se descontaminarán con un desinfectante apropiado después de cada periodo de trabajo.

Para más información, véase la referencia 12.

Uso de las cámaras de seguridad biológica

1. Habrá que explicar a todos los posibles usuarios el modo de empleo y las limitaciones de estas cámaras (véase el capítulo 10), tomando como referencia las normas nacionales y las publicaciones pertinentes. El personal recibirá protocolos escritos o manuales de seguridad o de operación. En particular, ha de quedar claro que la cámara no protege al trabajador de derrames, roturas o técnicas incorrectas.
2. La cámara no debe utilizarse si no funciona correctamente.
3. La ventana de vidrio transparente no debe abrirse mientras se está utilizando la cámara.
4. Los aparatos y materiales introducidos en la cámara deben reducirse al mínimo y no deben bloquear la circulación del aire en la cámara de distribución trasera.
5. No deben utilizarse mecheros de Bunsen en el interior de la cámara, ya que el calor producido perturbará el flujo de aire y puede dañar los filtros. Puede permitirse el uso de un microincinerador, aunque es preferible utilizar asas estériles desechables.
6. Todo el trabajo debe hacerse en la zona media o posterior de la superficie de trabajo y ser visible a través de la ventana.
7. El paso de personas por detrás del trabajador debe reducirse al mínimo.
8. El trabajador no debe alterar el flujo de aire al sacar y volver a introducir repetidas veces los brazos.
9. Las rejillas de aire no deben estar bloqueadas con papeles, pipetas u otros materiales, pues con ello se perturba el flujo de aire y puede provocarse la contaminación del material y la exposición del trabajador.
10. La superficie de la CSB deberá limpiarse con un paño empapado con un desinfectante apropiado una vez terminado el trabajo y al final del día.
11. El ventilador de la cámara se encenderá al menos 5 minutos antes de empezar el trabajo y debe seguir funcionando al menos durante 5 minutos después de concluido el trabajo.
12. Nunca se introducirán papeles en las CSB.

Si se desea más información acerca de las CSB, véase el capítulo 10.

Técnicas para evitar la ingestión de material infeccioso y su contacto con la piel y los ojos

1. Las partículas y gotículas de mayor tamaño ($>5\mu\text{m}$) que se desprenden durante las manipulaciones microbiológicas se depositan rápidamente en la superficie de

las mesas y en las manos del trabajador. éste llevará guantes desechables. Los trabajadores del laboratorio evitarán tocarse la boca, los ojos y el rostro.

2. En el laboratorio no se deben conservar ni consumir alimentos o bebidas.
3. En el laboratorio no se colocarán objetos en la boca (lápices, goma de mascar).
4. En el laboratorio no se aplicarán cosméticos.
5. La cara, los ojos y la boca deben estar protegidos con una pantalla o de algún otro modo durante cualquier operación que pueda provocar salpicaduras de material potencialmente infeccioso.

Técnicas para evitar la inyección de material infeccioso

1. La inoculación accidental debida a heridas por objetos de vidrio rotos o astillados puede evitarse mediante prácticas y procedimientos cuidadosos. El material de vidrio debe ser reemplazado por material de plástico siempre que sea posible.
2. La inoculación accidental puede producirse como consecuencia de heridas con agujas hipodérmicas, pipetas de Pasteur de vidrio o vidrios rotos.
3. El número de accidentes causados por agujas hipodérmicas puede reducirse restringiendo al mínimo el uso de jeringuillas y agujas (por ejemplo, existen dispositivos sencillos para abrir los frascos con tapón de diafragma de modo que puedan usarse pipetas en lugar de jeringuillas y agujas), o utilizando dispositivos especiales de seguridad para objetos cortantes y punzantes cuando se hace imprescindible utilizar jeringuillas y agujas.
4. Nunca deben volver a cubrirse las agujas. Los artículos desechables deberán colocarse en recipientes resistentes a la perforación que tengan tapa.
5. Las pipetas de Pasteur de vidrio deben sustituirse por otras de plástico.

Separación de suero

1. Sólo realizará este trabajo personal de laboratorio debidamente capacitado.
2. El personal llevará guantes y equipo protector de ojos y mucosas.
3. Sólo una buena técnica permite evitar o reducir al mínimo las salpicaduras y los aerosoles. La sangre y el suero se deben pipetear con cuidado en lugar de verterlos. El pipeteo con la boca estará prohibido.
4. Una vez usadas, las pipetas se sumergirán por completo en un desinfectante apropiado y permanecerán en él durante un tiempo suficiente, hasta que se eliminen o se laven y esterilicen para volverlas a utilizar.
5. Los tubos de ensayo que se desea eliminar y que contienen coágulos de sangre u otros materiales se colocarán, nuevamente con sus tapas, en recipientes impermeables apropiados que se tratarán y esterilizarán en la autoclave o se incinerarán.
6. Habrá que disponer de desinfectantes apropiados para limpiar las salpicaduras y los derrames de material (véase el capítulo 14).

Uso de las centrifugadoras

1. El funcionamiento mecánico satisfactorio es un requisito de la seguridad microbiológica del empleo de centrifugadoras en el laboratorio.

2. Las centrifugadoras se utilizarán según las instrucciones del fabricante.
3. Las centrifugadoras deben colocarse a una altura tal que los trabajadores puedan ver la cubeta para colocar correctamente los soportes y los cestillos.
4. Los tubos de la centrifugadora y los recipientes de muestras destinados al uso en la centrifugadora deben estar fabricados de vidrio grueso o, preferiblemente, de plástico, y deben inspeccionarse para detectar defectos antes de usarlos.
5. Los tubos y los recipientes para muestras deben estar siempre bien cerrados (con tapón de rosca si es posible) para la centrifugación.
6. Los cestillos deben cargarse, equilibrarse, cerrarse y abrirse en una CSB.
7. Los cestillos y los soportes se deben emparejar por el peso y equilibrar correctamente con los tubos en su sitio.
8. El espacio que debe dejarse entre el nivel del líquido y el borde de cada tubo de centrifugación debe ser especificado en las instrucciones del fabricante.
9. Para equilibrar los cestillos vacíos se empleará agua destilada o alcohol (propanol al 70%). No se empleará suero salino ni solución de hipoclorito porque ambos productos corroen los metales.
10. Para los microorganismos de los grupos de riesgo 3 y 4 se utilizarán cestillos de centrifugadora de cierre hermético (cestillos de seguridad).
11. Cuando se utilicen rotores de cabeza angular, debe velarse por que el tubo no esté excesivamente cargado, ya que puede haber fugas del líquido.
12. El interior de la cubeta de la centrifugadora se inspeccionará a diario para observar si existen manchas o suciedad en el rotor. Si éstas son manifiestas, se deben examinar de nuevo los protocolos de centrifugación.
13. Los rotores y los cestillos de la centrifugadora deben observarse diariamente para detectar signos de corrosión y grietas.
14. Los cestillos, los rotores y la cubeta de la centrifugadora deben descontaminarse después de cada uso.
15. Después del uso, los cestillos se depositarán en posición invertida a fin de vaciar el líquido utilizado para equilibrar.
16. Al utilizar centrifugadoras pueden expulsarse partículas infecciosas transportadas por el aire. Esas partículas salen despedidas a una velocidad demasiado alta para que las retenga el flujo de aire de la cámara si la centrifugadora está funcionando en una CSB tradicional con abertura frontal de las clases I y II. Si se colocan las centrifugadoras en CSB de clase III se evita que los aerosoles emitidos se dispersen ampliamente. No obstante, el empleo de una buena técnica de centrifugación y de tubos tapados correctamente ofrece protección suficiente contra los aerosoles infecciosos y la dispersión de partículas.

Uso de homogeneizadores, agitadores, mezcladores y desintegradores ultrasónicos

1. No deben utilizarse homogeneizadores domésticos (de cocina) en los laboratorios, pues pueden tener fugas o desprender aerosoles. Los mezcladores y homogeneizadores de laboratorio de tipo *Stomacher* son más seguros.

2. Los tapones y los recipientes o frascos deben estar en buenas condiciones, sin deformaciones ni fisuras. Los tapones deben ajustar bien y las juntas deben estar en buen estado.
3. Durante el funcionamiento de los homogeneizadores, agitadores y desintegradores ultrasónicos se produce un aumento de la presión dentro del recipiente, con lo que pueden desprenderse entre la tapa y el recipiente aerosoles con materiales infecciosos. Se recomiendan los recipientes de plástico, en particular de politetrafluoroetileno (PTFE), porque el vidrio puede romperse y liberar material infeccioso, e incluso herir al trabajador.
4. Durante su utilización, hay que recubrir los aparatos con una funda fuerte de plástico transparente, que se desinfectará una vez usada. Siempre que sea posible, estos aparatos, con su funda de plástico, se utilizarán dentro de una CSB.
5. Una vez terminada la operación, el recipiente se abrirá en una CSB.
6. Las personas que utilicen desintegradores ultrasónicos deben llevar protección auditiva.

Uso de trituradores de tejidos

1. Los trituradores de vidrio deben sostenerse envueltos en una pieza de material absorbente y con la mano enguantada. Son más seguros los trituradores de plástico (PTFE).
2. Los trituradores de tejidos deben utilizarse y abrirse en una CSB.

Mantenimiento y uso de refrigeradores y congeladores

1. Los refrigeradores, congeladores y recipientes de nieve carbónica deben descongelarse y limpiarse periódicamente; se eliminarán todos los tubos, ampollas y otros objetos que se hayan roto durante el almacenamiento. Durante la limpieza se debe utilizar protección facial y guantes de goma gruesa. Después de la limpieza se desinfectarán las superficies interiores de la cámara.
2. Todos los recipientes almacenados en refrigeradores y congeladores deben llevar etiquetas bien claras con el nombre científico del contenido, la fecha de almacenamiento y el nombre de la persona que los ha almacenado. Los materiales sin etiquetas y anticuados deben tratarse en la autoclave y desecharse.
3. Debe mantenerse un inventario del contenido de los refrigeradores y congeladores.
4. No deben guardarse nunca soluciones inflamables en refrigeradores, excepto si estos son a prueba de explosión. En las puertas de los refrigeradores se colocarán advertencias al respecto.

Técnicas para abrir ampollas que contengan material infeccioso liofilizado

Conviene abrir con precaución las ampollas de material liofilizado pues, al estar cerradas a presión reducida, la entrada brusca de aire puede dispersar el contenido en la atmósfera. Las ampollas deben abrirse siempre dentro de una CSB. Para abrir las ampollas se recomienda el siguiente procedimiento:

1. En primer lugar, descontaminar la superficie exterior de la ampolla.
2. Hacer con la lima una marca en el tubo, cerca de la mitad del tapón de algodón o celulosa, si lo hay.
3. Sujetar la ampolla en un algodón empapado en alcohol para proteger las manos antes de romperla por la marca.
4. Retirar con cuidado la parte superior y tratarla como si fuera material contaminado.
5. Si el tapón sigue estando por encima del contenido de la ampolla, retirarlo con una pinza estéril.
6. Reconstituir la suspensión añadiendo el líquido lentamente para evitar la formación de espuma.

Almacenamiento de ampollas que contengan material infeccioso

Las ampollas que contienen material infeccioso no se deben sumergir nunca en nitrógeno líquido, ya que las que estén fisuradas o mal cerradas podrían romperse o explotar al sacarlas. Si se necesitan temperaturas muy bajas, las ampollas sólo se deben almacenar en la fase gaseosa que queda por encima del nitrógeno líquido. También pueden almacenarse los materiales infecciosos en congeladores mecánicos o nieve carbónica. Al retirar las ampollas del almacenamiento en frío, el personal deberá llevar protegidos los ojos y las manos.

Las ampollas conservadas por estos procedimientos se descontaminarán por fuera siempre que se saquen del lugar de almacenamiento.

Precauciones normalizadas en relación con la sangre y otros líquidos corporales, tejidos y excreciones

Las precauciones normalizadas (que incluyen las «precauciones universales» (19)) están concebidas para reducir el riesgo de transmisión de microorganismos de fuentes de infección tanto reconocidas como no reconocidas (2).

Recogida, etiquetado y transporte de muestras

1. Se seguirán siempre las precauciones normalizadas (2); se usarán guantes en todos los procedimientos.
2. La toma de sangre de personas y animales estará a cargo de personal capacitado.
3. En las flebotomías, los sistemas convencionales de aguja y jeringuilla se sustituirán por dispositivos de seguridad al vacío de un solo uso que permitan recoger la sangre directamente en tubos de transporte o de cultivo con tapón y que inutilicen la aguja después del uso.
4. Los tubos se colocarán en recipientes apropiados para el transporte al laboratorio (véase el capítulo 15 para más información sobre los requisitos de transporte) y dentro del laboratorio (véase en el presente capítulo la sección sobre transporte de muestras dentro del servicio). Los formularios de petición de examen se colocarán en bolsas o sobres impermeables separados.
5. El personal de recepción **no** debe abrir estas bolsas.

Apertura de tubos de muestras y muestreo del contenido

1. Los tubos de muestras deben abrirse en una CSB.
2. Deben usarse guantes. También se recomienda proteger los ojos y las mucosas (gafas de seguridad de tipo máscara o viseras).
3. Las prendas de protección se complementarán con un delantal de plástico.
4. Para sacar el tapón, éste se agarrará con un trozo de papel o de gasa con el fin de evitar salpicaduras.

Vidrio y objetos punzantes y cortantes

1. Siempre que sea posible, se sustituirá el material de vidrio por material de plástico. Sólo se utilizará vidrio duro especial para laboratorio (borosilicato); se desechará todo artículo que esté astillado o agrietado.
2. No se utilizarán agujas hipodérmicas para pipetear (véase también el apartado «Técnicas para evitar la inoculación de material infeccioso» en el presente capítulo).

Extensiones y frotis para el examen microscópico

La fijación y tinción de muestras de sangre, esputo y heces para el microscopio no destruye necesariamente todos los organismos o los virus de las extensiones. éstas deben manipularse con pinzas, almacenarse cuidadosamente y descontaminarse o tratarse en autoclave antes de eliminarlas.

Equipo automático (desintegradores ultrasónicos, mezcladores vorticiales)

1. El equipo debe ser cerrado para evitar la dispersión de gotitas y aerosoles.
2. Los efluentes se recogerán en recipientes cerrados y se tratarán en la autoclave o se eliminarán.
3. El equipo se desinfectará al final de cada sesión de trabajo, siguiendo las instrucciones del fabricante.

Tejidos

1. Se utilizarán fijadores a base de formol.
2. Se evitarán los cortes de material congelado. Cuando sea necesario, el criostato estará protegido y el trabajador llevará visera de seguridad. Para la descontaminación, la temperatura del instrumento se elevará a 20°C, como mínimo.

Descontaminación

Para la descontaminación se recomiendan hipocloritos y desinfectantes de alto nivel. Las soluciones de hipoclorito recién preparadas contendrán cloro disponible a razón de 1 g/l para uso general, y de 5 g/l para limpiar derrames de sangre. Para la desinfección de superficies puede utilizarse glutaraldehído (véase el capítulo 14).

Precauciones con materiales que puedan contener priones

Los priones, también conocidos como «virus lentos», se asocian a las encefalopatías espongiformes transmisibles, en particular la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (incluida la nueva variante), el síndrome de Gerstmann-Sträussler-Scheinker, el insomnio familiar letal y el *kuru* en el ser humano; la tembladera en el ganado ovino y caprino; la encefalopatía espongiforme bovina en el ganado bovino, y otras encefalopatías transmisibles en el reno, el alce y el visón. Aunque la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob se ha transmitido a seres humanos, no parece que existan casos demostrados de infecciones asociadas al laboratorio provocadas por ninguno de esos agentes. Sin embargo, es prudente observar ciertas precauciones en la manipulación de material procedente de personas y animales infectados o posiblemente infectados.

La selección de un nivel de bioseguridad para trabajar con materiales asociados a las encefalopatías espongiformes transmisibles dependerá de la naturaleza del agente y de las muestras que vayan a estudiarse, y se realizará en consulta con las autoridades nacionales. Las mayores concentraciones de priones se localizan en los tejidos del sistema nervioso central. Los estudios en animales indican que también se encuentran concentraciones elevadas en el bazo, el timo, los ganglios linfáticos y el pulmón. Estudios recientes indican que los priones presentes en los tejidos de la lengua y del músculo esquelético también pueden suponer un riesgo de infección (20–23).

Dado que es difícil conseguir la inactivación completa de los priones, es importante insistir en que se utilicen instrumentos desechables siempre que sea posible, así como una cubierta protectora desechable para la superficie de trabajo de la CSB.

La principal precaución que hay que adoptar es evitar la ingestión de material contaminado y la punción de la piel del trabajador. Además, se tomarán las siguientes precauciones, ya que estos agentes no son inactivados por los procesos normales de desinfección y esterilización del laboratorio:

1. Se recomienda encarecidamente utilizar equipo exclusivo, es decir, no compartido con otros laboratorios.
2. Se llevará ropa protectora (batas y delantales) y guantes (de malla de acero entre guantes de goma para los anatomopatólogos) desechables.
3. Se recomienda encarecidamente el uso de material de plástico desechable, que puede tratarse y eliminarse como residuo seco.
4. No deben utilizarse procesadores de tejidos debido a los problemas de desinfección. Se utilizarán en su lugar frascos y vasos de boca ancha de plástico.
5. Todas las manipulaciones se realizarán en CSB.
6. Se tendrá gran cuidado para evitar la producción e ingestión de aerosoles, así como los cortes y punciones de la piel.
7. Los tejidos fijados con formol seguirán considerándose infecciosos, aun después de una exposición prolongada al formol.
8. Las muestras histológicas que contengan priones quedan sustancialmente inactivadas por la exposición durante 1 h al ácido fórmico al 96% (24, 25).

9. Los residuos del lugar de trabajo, incluidos los guantes, las batas y los delantales desechables, se tratarán en la autoclave utilizando un esterilizador de vapor para sustancias porosas a 134–137 °C durante un ciclo de 18 minutos, o seis ciclos sucesivos de 3 minutos cada uno, seguidos de incineración.
10. Los instrumentos no desechables, incluidos los guantes de malla de acero, deben recogerse para ser descontaminados.
11. Los residuos de líquidos infecciosos contaminados con priones deben tratarse durante 1 h con hipoclorito sódico con 20 g de cloro libre por litro (2%) (concentración final).
12. Los procedimientos de vaporización con paraformaldehído no disminuyen los títulos de priones. Los priones son resistentes a la radiación ultravioleta. A pesar de ello, deben seguir descontaminándose las cámaras por los métodos habituales (formaldehído gaseoso) para inactivar otros agentes que puedan estar presentes.
13. Las CSB y otras superficies contaminadas por priones pueden descontaminarse con hipoclorito sódico (20 g de cloro libre por litro: 2%) durante 1 h.
14. Los filtros HEPA deben incinerarse a una temperatura mínima de 1000 °C después de retirarlos. Otros pasos recomendados antes de la incineración son los siguientes:
 - a. rociar la cara expuesta del filtro con laca para el cabello antes de retirarlo;
 - b. introducir los filtros en bolsas durante su extracción, y
 - c. extraer el filtro HEPA desde la cámara de trabajo, de modo que la cámara de distribución inaccesible no se contamine.
15. Los instrumentos se sumergirán en hipoclorito sódico (20 g de cloro libre por litro: 2%) durante 1 h, y a continuación se enjuagarán cuidadosamente en agua antes de tratarlos en la autoclave.
16. Los instrumentos que no puedan tratarse en la autoclave pueden limpiarse mojándolos repetidamente con hipoclorito sódico (20 g de cloro libre por litro: 2%) durante 1 h. Se enjuagará cuidadosamente a fin de eliminar los residuos de hipoclorito sódico.

En las referencias 12, 26 y 27 figura más información sobre la manipulación de agentes no convencionales.

13. Planes de contingencia y procedimientos de emergencia

Todo laboratorio que trabaje con microorganismos infecciosos deberá establecer precauciones de seguridad acordes con el riesgo que entrañen los microorganismos y los animales utilizados.

En cualquier instalación que almacene o trabaje con microorganismos de los grupos de riesgo 3 ó 4 (laboratorios de contención – nivel de bioseguridad 3 y laboratorios de contención máxima – nivel de bioseguridad 4) es indispensable un plan escrito de medidas de contingencia para hacer frente a los accidentes en el laboratorio y en los animalarios. Las autoridades sanitarias nacionales o locales deberán participar en la elaboración del plan de preparación para emergencias.

Plan de contingencia

El plan de contingencia debe prever procedimientos operativos para los siguientes casos:

1. Precauciones contra catástrofes naturales, como incendios, inundaciones, terremotos y explosiones
2. Evaluación del riesgo biológico
3. Medidas aplicables en caso de exposición accidental y descontaminación
4. Evacuación de emergencia de personas y animales de los locales
5. Tratamiento médico de emergencia de las personas expuestas y heridas
6. Vigilancia médica de las personas expuestas
7. Manejo clínico de las personas expuestas
8. Investigación epidemiológica
9. Continuación del funcionamiento tras el incidente.

En la elaboración del plan habrá que prever la inclusión de los siguientes elementos:

1. Identificación de microorganismos de alto riesgo
2. Localización de zonas de alto riesgo, como laboratorios, almacenes y animalarios
3. Identificación del personal y de las poblaciones en riesgo
4. Identificación del personal con responsabilidades y de sus obligaciones, como el funcionario de bioseguridad, el personal de seguridad, las autoridades sanitarias locales, clínicos, microbiólogos, veterinarios, epidemiólogos, servicios de bomberos y de policía

5. Lista de los servicios de tratamiento y aislamiento que pueden atender a las personas expuestas o infectadas
6. Transporte de las personas expuestas o infectadas
7. Lista de fuentes de inmunoseros, vacunas, medicamentos y materiales y suministros especiales
8. Provisión de material de emergencia, como ropa protectora, desinfectantes, estuches de material para derrames químicos y biológicos, material y suministros para la descontaminación.

Procedimientos de emergencia para laboratorios de microbiología

Heridas punzantes, cortes y abrasiones

La persona afectada deberá quitarse la ropa protectora, lavarse las manos y la parte lesionada, aplicarse un desinfectante cutáneo apropiado y buscar la atención médica que sea precisa. Se notificará la causa de la herida y los microorganismos implicados; se mantendrán registros médicos apropiados y completos.

Ingestión de material potencialmente infeccioso

Se quitará la ropa protectora y se buscará atención médica. Se notificará la identidad del material ingerido y las circunstancias del incidente, y se mantendrán registros médicos apropiados y completos.

Emisión de aerosoles potencialmente infecciosos (fuera de una cámara de seguridad biológica)

Todas las personas deberán evacuar inmediatamente la zona afectada; las personas expuestas serán enviadas de inmediato para recibir atención médica. Se informará inmediatamente al director del laboratorio y al funcionario de bioseguridad. Nadie podrá entrar en el local durante un tiempo prudencial (por ejemplo, una hora), de modo que los aerosoles puedan salir y se depositen las partículas más pesadas. Si el laboratorio no cuenta con un sistema central de evacuación de aire, la entrada se retrasará (por ejemplo durante 24 horas).

Se colocarán señales indicando que queda prohibida la entrada. Al cabo del tiempo apropiado, se procederá a la descontaminación bajo la supervisión del funcionario de bioseguridad. Para ello habrá que utilizar ropa protectora y protección respiratoria apropiadas.

Rotura de recipientes y derrames de sustancias infecciosas

Los recipientes rotos contaminados con sustancias infecciosas y las sustancias infecciosas derramadas se cubrirán con paños o papel absorbente. A continuación se verterá sobre éstos un desinfectante que se dejará actuar durante tiempo suficiente, y después podrá retirarse el paño o el papel absorbente junto con el material roto; los fragmentos de vidrio deberán ser manipulados con pinzas. Después se fregará la zona contaminada con un desinfectante. Si se utilizan recogedores de polvo para retirar el material roto, después habrá que tratarlos en la autoclave o sumergirlos en un

desinfectante eficaz. Los paños, el papel absorbente y las bayetas utilizados para la limpieza se colocarán en un recipiente para residuos contaminados. Habrá que utilizar guantes en todas estas operaciones.

Si se contaminan los formularios del laboratorio u otros papeles manuscritos o impresos, se copiará la información en otro formulario y se tirará el original en un recipiente para residuos contaminados.

Rotura de tubos con material potencialmente infeccioso en centrifugadoras carentes de cestillos de seguridad

Si se sabe o se sospecha que se ha roto un tubo mientras está funcionando el aparato, habrá que parar el motor y dejar el aparato cerrado (por ejemplo durante 30 minutos) para que se pose el material. Si la rotura se descubre cuando la máquina se ha parado, se volverá a tapar inmediatamente y se dejará cerrada (por ejemplo durante 30 minutos). En ambos casos, habrá que informar al funcionario de bioseguridad.

En todas las operaciones posteriores habrá que utilizar guantes fuertes (por ejemplo, de goma gruesa), cubiertos en caso necesario con guantes desechables apropiados. Para recoger los trozos de vidrio se utilizarán pinzas o algodón manipulado con pinzas.

Todos los tubos rotos, fragmentos de vidrio, cestillos, soportes y el rotor se sumergirán en un desinfectante no corrosivo de eficacia conocida contra los microorganismos de que se trate (véase el capítulo 14). Los tubos intactos, con sus correspondientes tapones, pueden introducirse en desinfectante en un recipiente aparte para recuperarlos.

La cubeta de la centrifugadora se limpiará con una bayeta empapada en el mismo desinfectante a la dilución apropiada; se repetirá la operación y después se lavará con agua y se secará. Todo el material de limpieza utilizado se tratará como si fuera material de desecho infectado.

Rotura de tubos dentro de los cestillos de cierre hermético (cestillos de seguridad)

Todos los cestillos de centrifugadora de cierre hermético se cargarán y descargarán en una CSB. Si se sospecha que se ha producido una rotura dentro del cestillo de seguridad, la tapa de seguridad se soltará cuidadosamente y se tratará el cestillo en la autoclave. También se podrá desinfectar con agentes químicos.

Incendios y catástrofes naturales

Los servicios de incendios y de otro tipo deben participar en la elaboración de los planes de preparación para emergencias y estarán informados de antemano acerca de las salas que contienen material potencialmente infeccioso. Es conveniente que estos servicios visiten las instalaciones del laboratorio para familiarizarse con su distribución y su contenido.

Después de una catástrofe natural, se informará a los servicios de emergencia locales o nacionales de los riesgos existentes dentro del edificio del laboratorio y en sus proximidades. El personal de esos servicios sólo deberá entrar acompañado por

un trabajador capacitado del laboratorio. El material infeccioso será recogido en cajas impermeables o bolsas desechables fuertes.

El personal de seguridad, basándose en la reglamentación local, determinará el material que podrá recuperarse o eliminarse definitivamente.

Servicios de emergencia: ¿a quién acudir?

En las instalaciones se expondrán en lugar bien visible las direcciones y los números de teléfono siguientes:

1. Del propio establecimiento o laboratorio (sus señas y su situación quizá no sean conocidos por la persona que llama ni por los servicios a los que se acude)
2. Del director del establecimiento o laboratorio
3. Del supervisor del laboratorio
4. Del funcionario de bioseguridad
5. Del servicio de bomberos
6. Del hospital/servicio de ambulancias/personal médico (nombre de los distintos servicios, departamentos o personal médico, si es posible)
7. De la policía
8. Del funcionario médico
9. Del técnico responsable
10. De los servicios de agua, gas y electricidad.

Equipo de emergencia

Se dispondrá del siguiente equipo de emergencia:

1. Botiquín de primeros auxilios, que contendrá antídotos universales y especiales
2. Extintores de incendios, mantas para apagar fuegos.

A continuación se indican otros materiales que pueden ser necesarios en ciertas circunstancias locales:

1. Vestimenta protectora completa (monos de una pieza, guantes y capuchas, para incidentes con microorganismos de los grupos de riesgo 3 y 4)
2. Mascarillas respiratorias que cubran toda la cara, provistas de filtros para partículas y sustancias químicas
3. Material para la desinfección de locales, como rociadores y vaporizadores de formaldehído
4. Camillas
5. Herramientas, como martillos, hachas, llaves de tuercas, destornilladores, escaleras de mano, cuerdas
6. Material para demarcar y señalar zonas peligrosas.

Si se desea más información, consúltense las referencias 12 y 28.

14. Desinfección y esterilización

Para la bioseguridad en el laboratorio es fundamental disponer de conocimientos básicos sobre la desinfección y la esterilización. Habida cuenta de que los objetos muy sucios no pueden desinfectarse o esterilizarse rápidamente, es igualmente importante comprender los conceptos básicos de la limpieza previa. A este respecto, los siguientes principios generales se aplican a todas las clases conocidas de microbios patógenos.

Los requisitos particulares de la descontaminación dependerán del tipo de trabajo experimental y de la naturaleza de los agentes infecciosos que se estén manipulando. La información genérica que aquí se ofrece puede utilizarse para elaborar procedimientos tanto normalizados como más específicos para hacer frente a los peligros biológicos que existan en un laboratorio concreto.

Los tiempos de contacto con los desinfectantes son distintos para cada material y cada fabricante. Así pues, todas las recomendaciones para el uso de desinfectantes deben seguir las especificaciones del fabricante.

Definiciones

En la esfera de la desinfección y la esterilización se utilizan muchos términos diferentes. Los siguientes se encuentran entre los más comunes en el campo de la bioseguridad:

Antimicrobiano – Agente que mata los microorganismos o suprime su crecimiento y proliferación.

Antiséptico – Sustancia que inhibe el crecimiento y el desarrollo de microorganismos pero no necesariamente los mata. Los antisépticos suelen aplicarse a las superficies corporales.

Biocida – Término general para cualquier agente que mate organismos.

Descontaminación – Cualquier proceso utilizado para eliminar o matar microorganismos. También se utiliza para referirse a la eliminación o neutralización de sustancias químicas peligrosas y materiales radioactivos.

Desinfección – Medio físico o químico de matar microorganismos, pero no necesariamente esporas.

Desinfectante – Sustancia o mezcla de sustancias químicas utilizada para matar microorganismos, pero no necesariamente esporas. Los desinfectantes suelen aplicarse a superficies u objetos inanimados.

Esporicida – Sustancia o mezcla de sustancias químicas utilizadas para matar microorganismos y esporas.

Esterilización – Proceso que mata o elimina todas las clases de microorganismos y esporas.

Germicida químico – Sustancia o mezcla de sustancias químicas utilizada para matar microorganismos.

Microbicida – Sustancia o mezcla de sustancias químicas que mata microorganismos. Este término se utiliza a menudo en lugar de «biocida», «germicida químico» o «antimicrobiano».

Limpieza del material de laboratorio

La limpieza consiste en la eliminación de suciedad, materia orgánica y manchas. Incluye el cepillado, la aspiración, el desempolvado en seco, el lavado o el fregado con un paño y agua con jabón o detergente. La suciedad, la tierra y la materia orgánica pueden albergar microorganismos e interferir con la acción de los descontaminantes (antisépticos, germicidas químicos y desinfectantes).

La limpieza previa es fundamental para conseguir una correcta desinfección o esterilización. Muchos productos germicidas sólo son activos sobre material previamente limpio. La limpieza previa debe llevarse a cabo con cuidado para evitar la exposición a agentes infecciosos.

Deben utilizarse materiales que sean químicamente compatibles con los germicidas que vayan a utilizarse después. Es muy frecuente utilizar el mismo germicida químico para la limpieza previa y la desinfección.

Germicidas químicos

Pueden utilizarse como desinfectantes o antisépticos muchos tipos de sustancias químicas. Dado que el número y la variedad de productos comerciales es cada vez mayor, deben elegirse cuidadosamente las formulaciones que sean más indicadas para las necesidades concretas.

La actividad germicida de muchas sustancias químicas es más rápida y eficaz a temperaturas más altas, pero las temperaturas elevadas también pueden acelerar su evaporación y degradarlas. Es preciso tener particular cuidado en el uso y el almacenamiento de esas sustancias en las regiones tropicales, donde su tiempo de conservación puede verse reducido a causa de las altas temperaturas del ambiente.

Muchos germicidas pueden ser perjudiciales para el ser humano o el medio ambiente. Se deben seleccionar, almacenar, manipular, utilizar y eliminar con precaución, siguiendo las instrucciones del fabricante. En relación con la seguridad personal, se recomienda utilizar guantes, delantales y protección ocular cuando se preparen diluciones de germicidas químicos.

Normalmente no se necesita recurrir a germicidas químicos para la limpieza ordinaria de suelos, paredes, equipo y mobiliario, pero su uso puede ser apropiado en ciertos casos para controlar brotes.

Cuadro 12. Diluciones recomendadas de compuestos que liberan cloro

	SITUACIONES «LIMPIAS» ^a	SITUACIONES «SUCIAS» ^b
Cloro libre requerido	0,1% (1 g/l)	0,5% (5 g/l)
Solución de hipoclorito sódico (5% de cloro libre)	20 ml/l	100 ml/l
Hipoclorito cálcico (70% de cloro libre)	1,4 g/l	7,0 g/l
Dicloroisocianurato sódico en polvo (60% de cloro libre)	1,7 g/l	8,5 g/l
Dicloroisocianurato sódico en comprimidos (1,5 g de cloro libre por comprimido)	Un comprimido por litro	Cuatro comprimidos por litro
Cloramina (25% de cloro libre) ^c	20 g/l	20 g/l

^a Después de retirar el material grueso.

^b Para enjuagar, por ejemplo sobre la sangre o antes de retirar el material grueso.

^c Véase el texto.

El uso correcto de los germicidas químicos contribuirá a la seguridad en el lugar de trabajo y al mismo tiempo reducirá el riesgo que suponen los agentes infecciosos. En la medida de lo posible, el número de sustancias químicas germicidas que se utilicen deberá ser limitado por razones económicas y de control del inventario, así como para reducir la contaminación ambiental.

A continuación se describen las clases más utilizadas de germicidas químicos, con información genérica sobre sus aplicaciones y sus características de seguridad. A menos que se indique otra cosa, sus concentraciones se expresan en peso/volumen. En el cuadro 12 se resumen las diluciones recomendadas de los compuestos que liberan cloro.

Cloro (hipoclorito sódico)

El cloro, oxidante de acción rápida, es un germicida químico de uso muy extendido y de amplio espectro. Normalmente se vende en forma de lejía, una solución acuosa de hipoclorito sódico (NaOCl) que puede diluirse en agua para conseguir distintas concentraciones de cloro libre.

El cloro, especialmente en forma de lejía, es sumamente alcalino y puede ser corrosivo para los metales. Su actividad se ve considerablemente reducida por la materia orgánica (proteínas). Las soluciones madre o de trabajo de lejía almacenadas en recipientes abiertos, particularmente a temperaturas elevadas, liberan cloro gaseoso con lo que se debilita su potencial germicida. La frecuencia con la que deben prepararse nuevas soluciones de trabajo de lejía depende de su potencia inicial, del tamaño y el tipo de los recipientes (por ejemplo, con o sin tapa), de la frecuencia y el tipo de uso, y de las condiciones ambientales. A título de orientación general, las soluciones que reciban materiales con gran cantidad de materia orgánica varias veces al día deben

cambiarse al menos diariamente, mientras que aquellas que se usan con menos frecuencia pueden durar hasta una semana.

Como solución desinfectante general para toda clase de trabajos de laboratorio se utilizará una concentración de 1 g/l de cloro libre. En caso de derrame que conlleve un peligro biológico y en presencia de grandes cantidades de materia orgánica, se recomienda utilizar una solución más concentrada, que contenga 5 g/l de cloro libre. Las soluciones de hipoclorito sódico, como la lejía de uso doméstico, contienen 50 g/l de cloro libre y por tanto deben diluirse a razón de 1:50 o 1:10 para obtener concentraciones finales de 1 g/l y 5 g/l, respectivamente. Las soluciones industriales de lejía tienen una concentración de hipoclorito sódico cercana a los 120 g/l y deben diluirse en consecuencia para obtener los niveles indicados más arriba.

Los gránulos o comprimidos de hipoclorito cálcico ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) suelen contener alrededor de un 70% de cloro libre. Las soluciones preparadas con gránulos o comprimidos, que contienen 1,4 g/l y 7,0 g/l, contendrán entonces 1,0 g/l y 5 g/l de cloro libre, respectivamente.

La lejía no se recomienda como antiséptico, pero puede utilizarse como desinfectante de uso general y para sumergir materiales no metálicos contaminados. En caso de emergencia, también puede utilizarse la lejía para desinfectar agua para beber con una concentración final de 1–2 mg/l de cloro libre.

El cloro gaseoso es sumamente tóxico. Por esa razón, la lejía debe almacenarse y utilizarse solamente en zonas bien ventiladas. Además, la lejía no debe mezclarse con ácidos para evitar la liberación rápida de cloro gaseoso. Muchos subproductos del cloro pueden ser nocivos para el ser humano y el medio ambiente, de modo que debe evitarse el uso indiscriminado de desinfectantes a base de cloro, y en particular de la lejía.

Dicloroisocianurato sódico

El dicloroisocianurato sódico (NaDCC) en polvo contiene un 60% de cloro libre. Las soluciones preparadas con NaDCC en polvo a razón de 1,7 g/l y 8,5 g/l contendrán 1 g/l y 5 g/l de cloro libre, respectivamente. Los comprimidos de NaDCC suelen contener el equivalente a 1,5 g de cloro libre por comprimido. Uno o cuatro comprimidos disueltos en un litro de agua darán aproximadamente las concentraciones requeridas de 1 g/l o 5 g/l, respectivamente. El NaDCC se puede almacenar de forma fácil y segura tanto en polvo como en comprimidos. El NaDCC sólido puede aplicarse sobre las salpicaduras de sangre u otros líquidos que entrañen un riesgo biológico, dejándolo actuar durante 10 minutos antes de retirarlo. Después puede procederse a la limpieza minuciosa de la zona afectada.

Cloraminas

Las cloraminas existen en forma de polvo que contiene aproximadamente un 25% de cloro libre. Al liberar el cloro a menos velocidad que los hipocloritos, se requieren concentraciones iniciales más altas para obtener una eficacia equivalente a la de

aquéllos. Por otro lado, las soluciones de cloramina no son inactivadas por la materia orgánica con la misma intensidad que los hipocloritos y se recomienda una concentración de 20 g/l para situaciones tanto «limpias» como «sucias».

Las soluciones de cloramina son prácticamente inodoras. No obstante, los objetos sumergidos en ellas deben enjuagarse concienzudamente para eliminar todo residuo de los agentes inertes que se añaden a los polvos de cloramina T (tosilcloramida sódica).

Dióxido de cloro

El dióxido de cloro (ClO_2) es un germicida, desinfectante y oxidante potente y de acción rápida que a menudo tiene actividad a concentraciones inferiores a las necesarias en el caso del cloro procedente de la lejía. La forma gaseosa es inestable y se descompone en cloro gaseoso (Cl_2) y oxígeno gaseoso (O_2), produciendo calor. Sin embargo, el dióxido de cloro es soluble en agua y estable en solución acuosa. Puede obtenerse de dos formas: 1) por generación in situ, mezclando dos componentes distintos, el ácido clorhídrico (HCl) y el clorito sódico (NaClO_2), o 2) encargando la forma estabilizada, que después se activa en el laboratorio cuando se necesita.

El dióxido de cloro es el más selectivo de los biocidas oxidantes. El ozono y el cloro son mucho más reactivos que el dióxido de cloro y son consumidos por la mayoría de los compuestos orgánicos. En cambio, el dióxido de cloro sólo reacciona con los compuestos de azufre reducido, las aminas secundarias y terciarias, y otros compuestos orgánicos muy reducidos y reactivos. Por consiguiente, con el dióxido de cloro puede conseguirse un residuo más estable a dosis mucho menores que cuando se utilizan cloro u ozono. Si se genera debidamente, el dióxido de cloro, gracias a su selectividad, puede usarse con más eficacia que el ozono o el cloro en los casos de mayor carga de materia orgánica.

Formaldehído

El formaldehído (HCHO) es un gas que mata todos los microorganismos y esporas a temperaturas superiores a los 20°C. Sin embargo, no tiene actividad contra los priones.

Su acción es relativamente lenta y requiere una humedad relativa de alrededor del 70%. Se comercializa en forma de polímero sólido (paraformaldehído), en copos o comprimidos, o como formol, solución del gas en agua con aproximadamente 370 g/l (37%) y con metanol (100 ml/l) como estabilizante. Ambas formulaciones se calientan para liberar el gas, que se utiliza en la descontaminación y la desinfección de espacios cerrados como CSB y locales (véase más adelante el apartado sobre descontaminación ambiental de locales). El formaldehído (un 5% de formol en agua) puede utilizarse como desinfectante líquido.

El formaldehído es un agente presuntamente cancerígeno. Se trata de un gas peligroso de olor acre que puede irritar los ojos y las mucosas. Así pues, debe

almacenarse y utilizarse con una campana extractora de vapores o en zonas bien ventiladas. Deben observarse las normas nacionales de seguridad de las sustancias químicas.

Glutaraldehído

Al igual que el formaldehído, el glutaraldehído ($\text{OHC}(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$) tiene actividad contra formas vegetativas de bacterias, esporas, hongos y virus con y sin envoltura lipídica. No es corrosivo y su acción es más rápida que la del formaldehído. No obstante, tarda varias horas en matar las esporas bacterianas.

El glutaraldehído suele suministrarse en forma de solución con una concentración de unos 20 g/l (2%); algunos productos antes de ser utilizados necesitan ser «activados» (alcalinizados) mediante la adición de un compuesto de bicarbonato que se suministra con el producto. La solución activada puede volver a utilizarse durante 1 a 4 semanas, según la formulación y el tipo y la frecuencia de uso. Las tiras reactivas indicadoras que se suministran con algunos productos sólo dan una indicación aproximada de los niveles de glutaraldehído activo disponible en las soluciones en uso. Las soluciones de glutaraldehído deben desecharse si están turbias.

El glutaraldehído es tóxico e irritante para la piel y las mucosas; debe evitarse el contacto con él. Debe utilizarse con una campana extractora de vapores o en locales bien ventilados. No se recomienda en forma de pulverización ni de solución para descontaminar superficies. Deben observarse las normas nacionales de seguridad de las sustancias químicas.

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos, un grupo amplio de productos, figuran entre los germicidas más antiguos. Sin embargo, los resultados de estudios de inocuidad más recientes recomiendan restringir su uso. Tienen actividad contra las formas vegetativas de las bacterias y contra los virus con envoltura lipídica y, cuando están debidamente formulados, también son activos contra las micobacterias. No tienen actividad contra las esporas y su actividad contra los virus sin envoltura lipídica es variable. Muchos productos fenólicos se utilizan para descontaminar superficies ambientales, y algunos (por ejemplo, el triclosán y el cloroxilenol) se encuentran entre los antisépticos más usados.

El triclosán es común en los productos para el lavado de manos. Tiene actividad principalmente contra las formas vegetativas de las bacterias y es inocuo para la piel y las mucosas. Sin embargo, en estudios de laboratorio se ha observado que las bacterias con resistencia inducida a bajas concentraciones de triclosán también muestran resistencia a ciertos tipos de antibióticos. Se desconoce el alcance de esta observación sobre el terreno.

Algunos compuestos fenólicos son sensibles a la dureza del agua y pueden quedar inactivados con aguas duras; por esa razón, deben diluirse con agua destilada o desionizada.

No se recomiendan los compuestos fenólicos para las superficies que entren en contacto con alimentos ni en zonas en las que haya niños pequeños. Pueden ser absorbidos por el caucho y también pueden penetrar en la piel. Deben observarse las normas nacionales en materia de seguridad de las sustancias químicas.

Compuestos de amonio cuaternario

Muchos tipos de compuestos de amonio cuaternario se utilizan como mezclas y a menudo en combinación con otros germicidas, como los alcoholes. Tienen buena actividad contra algunas bacterias en fase vegetativa y virus con envoltura lipídica. Algunos tipos (por ejemplo, el cloruro de benzalconio) se utilizan como antisépticos.

La actividad germicida de ciertos tipos de compuestos de amonio cuaternario se reduce considerablemente con la materia orgánica, las aguas duras y los detergentes aniónicos. Así pues, es necesario tener cuidado en la selección de los agentes empleados en la limpieza previa cuando se vayan a utilizar compuestos de amonio cuaternario para la desinfección. En las soluciones de estos compuestos pueden proliferar bacterias potencialmente nocivas. Debido a su baja biodegradabilidad, estos compuestos también pueden acumularse en el medio ambiente.

Alcoholes

El etanol (alcohol etílico, C_2H_5OH) y el 2-propanol (alcohol isopropílico, $(CH_3)_2CHOH$) tienen propiedades desinfectantes similares. Son activos contra las formas vegetativas de las bacterias, los hongos y los virus con envoltura lipídica, pero no contra las esporas. Su acción sobre los virus sin envoltura lipídica es variable. Para conseguir la máxima eficacia deben utilizarse en concentraciones acuosas de aproximadamente un 70% (v/v): las concentraciones más altas o más bajas pueden no tener tanto poder germicida. Una de las grandes ventajas de las soluciones acuosas de alcoholes es que no dejan residuo alguno en los objetos tratados.

Las mezclas con otros agentes son más eficaces que el alcohol por sí solo; por ejemplo, el alcohol al 70% (v/v) con 100 g/l de formaldehído, o el alcohol con 2 g/l de cloro libre. Las soluciones acuosas de etanol al 70% (v/v) pueden utilizarse en la piel, las superficies de trabajo de las mesas de laboratorio y las CSB, así como para sumergir pequeñas piezas de instrumental quirúrgico. Dado que el etanol puede secar la piel, a menudo se mezcla con emolientes. Las friegas de alcohol se recomiendan para descontaminar manos ligeramente sucias en situaciones en las que no es posible o práctico lavarlas. Sin embargo, hay que recordar que el etanol no tiene actividad contra las esporas y quizá no mate todos los tipos de virus sin envoltura lipídica.

Los alcoholes son volátiles e inflamables y no deben utilizarse en las proximidades de llamas desnudas. Las soluciones de trabajo deben almacenarse en recipientes apropiados para evitar la evaporación. Los alcoholes pueden endurecer el caucho y disolver ciertos tipos de cola. El inventario y el almacenamiento apropiados del etanol en el laboratorio son sumamente importantes con el fin de evitar que se use para

aplicaciones distintas de la desinfección. Los frascos que contengan soluciones con alcohol deben rotularse con claridad para evitar que sean tratados en la autoclave.

Yodo y yodóforos

La acción de estos desinfectantes es análoga a la del cloro, aunque pueden ser ligeramente menos susceptibles a la inhibición por la materia orgánica. El yodo puede manchar los tejidos y las superficies del entorno, y en general no es adecuado como desinfectante. Por otro lado, los yodóforos y las tinturas de yodo son buenos antisépticos. La povidona yodada es un agente de lavado quirúrgico fiable e inócuo, y sirve como antiséptico cutáneo preoperatorio. Los antisépticos a base de yodo no suelen ser adecuados para utilizarlos en material médico/dental. El yodo no debe usarse en objetos de aluminio o cobre.

El yodo puede ser tóxico. Los productos orgánicos a base de yodo deben almacenarse a 4–10 °C para evitar la proliferación de bacterias potencialmente peligrosas en ellos.

Peróxido de hidrógeno y perácidos

Como el cloro, el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y los perácidos son oxidantes energéticos y pueden servir como potentes germicidas de amplio espectro. Son también más inócuos que el cloro para el ser humano y para el medio ambiente.

El peróxido de hidrógeno se suministra en forma de solución al 3% lista para usar o como solución acuosa al 30% que debe ser diluida hasta 5–10 veces su volumen en agua esterilizada. Sin embargo, esas soluciones al 3–6% por sí solas son relativamente lentas y limitadas como germicidas. Los productos disponibles hoy en día tienen otros ingredientes para estabilizar el contenido de peróxido de hidrógeno, acelerar su acción germicida y hacerlo menos corrosivo.

El peróxido de hidrógeno puede utilizarse para descontaminar las superficies de trabajo del laboratorio y de las CSB, y las soluciones más potentes pueden servir para desinfectar el material médico/dental sensible al calor. El uso de peróxido de hidrógeno vaporizado o ácido peracético (CH_3COOOH) para la descontaminación de material médico/quirúrgico sensible al calor requiere equipo especializado.

El peróxido de hidrógeno y los perácidos pueden ser corrosivos para metales como el aluminio, el cobre, el latón y el zinc, y también pueden decolorar tejidos, cabellos, piel y mucosas. Los objetos tratados con ellos deben enjuagarse concienzudamente antes del contacto con ojos y mucosas. Siempre se almacenarán alejados del calor y protegidos de la luz.

Descontaminación de espacios y superficies

La descontaminación del espacio, el mobiliario y el equipo de laboratorio requiere una combinación de desinfectantes líquidos y gaseosos. Las superficies pueden descontaminarse con una solución de hipoclorito sódico ($NaOCl$); una solución que contenga 1 g/l de cloro libre puede ser apropiada para la limpieza general, pero se

recomiendan soluciones más potentes (5 g/l) cuando se trate de situaciones de alto riesgo. Para la descontaminación de espacios y superficies, las soluciones de lejía pueden sustituirse por fórmulas que contengan un 3% de peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

Las salas y el equipo pueden descontaminarse por fumigación con formaldehído gaseoso, que se obtiene calentando paraformaldehído o hirviendo formol. Este procedimiento es sumamente peligroso y debe ser realizado por personal especialmente adiestrado. Todas las aberturas del local (ventanas, puertas, entre otros) deben cerrarse con cinta adhesiva o un material análogo antes de que se desprenda el gas. La fumigación debe efectuarse a una temperatura ambiente de al menos 21 °C y una humedad relativa del 70% (véase también el apartado sobre descontaminación de CSB en este capítulo).

Tras la fumigación, la zona debe ventilarse completamente antes de permitir la entrada de personal. Toda persona que entre en la sala antes de la ventilación habrá de llevar mascarillas respiratorias apropiadas. Para neutralizar el formaldehído puede utilizarse bicarbonato amónico gaseoso.

La fumigación de espacios reducidos con vapores de peróxido de hidrógeno también es eficaz, pero requiere equipo especializado para generar el vapor.

Descontaminación de cámaras de seguridad biológica

Para descontaminar las CSB de las clases I y II se dispone de aparatos autónomos que generan, ponen en circulación y neutralizan formaldehído gaseoso de forma independiente. Si no se dispone de ese equipo, debe colocarse la cantidad apropiada de paraformaldehído (concentración final de 0,8% de paraformaldehído en el aire) en una sartén sobre una placa eléctrica caliente. En una segunda placa caliente, también dentro de la cámara, se coloca otra sartén con bicarbonato amónico en una cantidad un 10% mayor que el paraformaldehído de la primera sartén. Ambas placas deben estar enchufadas fuera de la cámara para que se pueda controlar su funcionamiento desde el exterior. Si la humedad relativa es inferior al 70%, también debe colocarse una sartén con agua caliente en el interior de la cámara antes de sellar los bordes de la ventana frontal con cinta adhesiva fuerte (cinta aislante, por ejemplo). Sobre la abertura frontal y el orificio de evacuación se fija con cinta adhesiva una lámina de plástico grueso, con el fin de asegurar que el gas no pueda filtrarse a la sala. Los orificios de penetración de los cables eléctricos que pasan por la abertura frontal también deben cerrarse con cinta aislante.

Se enciende la placa con la sartén de paraformaldehído y se apaga cuando se haya evaporado totalmente. La cámara se deja en reposo durante al menos 6 horas. Entonces se enciende la segunda placa y se permite que el bicarbonato amónico se evapore. En ese momento se apaga la placa y se enciende el ventilador de la CSB durante dos intervalos de unos dos segundos para permitir que el gas de bicarbonato amónico circule por el interior. La cámara se dejará en reposo durante 30 min antes de retirar el plástico de la abertura frontal y del orificio de salida de aire. Antes de

volver a utilizar la cámara se limpiarán sus superficies con un paño para eliminar los residuos.

Lavado y descontaminación de las manos

Siempre que sea posible, se llevarán guantes apropiados cuando se manipulen materiales biológicos peligrosos. A pesar de ello, los guantes no obvian la necesidad de que el personal se lave las manos de forma regular y correcta. Las manos se lavarán después de manipular materiales biológicos peligrosos y animales, y antes de abandonar el laboratorio.

En la mayoría de las situaciones, un lavado concienzudo de las manos con jabón normal y agua basta para descontaminarlas, pero en las situaciones de alto riesgo se recomienda utilizar jabones germicidas. Se formará espuma abundante con el jabón y se frotarán bien las manos, durante un mínimo de 10 segundos; a continuación se aclararán en agua limpia y se secarán con una toalla de papel o un paño limpio (también se pueden utilizar secadores de manos de aire caliente).

Se recomiendan los grifos accionados con el pie o el codo. Cuando no existan, debe utilizarse una toalla de papel o paño para cerrar los mandos de los grifos con el fin de evitar volver a contaminarse las manos ya lavadas.

Como ya se ha dicho, pueden realizarse friegas con alcohol en las manos para descontaminarlas cuando estén ligeramente sucias y no se pueda lavarlas con agua y jabón.

Desinfección y esterilización por calor

El calor es el agente físico más utilizado para la descontaminación de patógenos. El calor «seco», que no es en absoluto corrosivo, se utiliza para tratar muchos objetos de laboratorio que pueden soportar temperaturas de 160 °C o más durante dos a cuatro horas. La combustión o incineración (véase más adelante) es también una forma de calor seco. El calor «húmedo» es especialmente eficaz cuando se utiliza en autoclave.

La cocción no necesariamente mata todos los microorganismos o patógenos, pero puede utilizarse como tratamiento mínimo de desinfección cuando no puedan aplicarse o no estén disponibles otros métodos, como la desinfección o descontaminación química, o el tratamiento en autoclave.

Los artículos esterilizados deben manipularse y guardarse de forma que se mantengan descontaminados hasta que se vuelvan a utilizar.

Tratamiento en autoclave

La aplicación de vapor de agua saturado a presión (tratamiento en autoclave) es el medio más eficaz y fiable de esterilizar material del laboratorio. Para la mayoría de los propósitos, los ciclos siguientes garantizarán la esterilización del contenido de la autoclave siempre que se haya cargado correctamente:

1. 3 minutos a 134 °C
2. 10 minutos a 126 °C

3. 15 minutos a 121 °C
4. 25 minutos a 115 °C.

Hay distintos tipos de autoclaves, entre los que cabe citar los siguientes:

Autoclaves de desplazamiento por gravedad. En la figura 10 se muestra la construcción general de una autoclave de desplazamiento por gravedad. El vapor entra en la cámara a presión y desplaza el aire más pesado hacia abajo, a través de la válvula del orificio de salida, equipada con un filtro HEPA.

Autoclaves de prevacío. Estos aparatos permiten eliminar el aire de la cámara antes de dar paso al vapor. El aire extraído se evacua a través de una válvula equipada con un filtro HEPA. Al final del ciclo, el vapor se evacua automáticamente. Estas autoclaves pueden funcionar a 134 °C, por lo que el ciclo de esterilización puede reducirse a tres minutos. Son ideales para cargas de material poroso, pero no pueden utilizarse para tratar líquidos debido al vacío.

Autoclaves de olla a presión calentadas por combustible. Este tipo de autoclaves sólo deben utilizarse si no se dispone de una autoclave de desplazamiento por

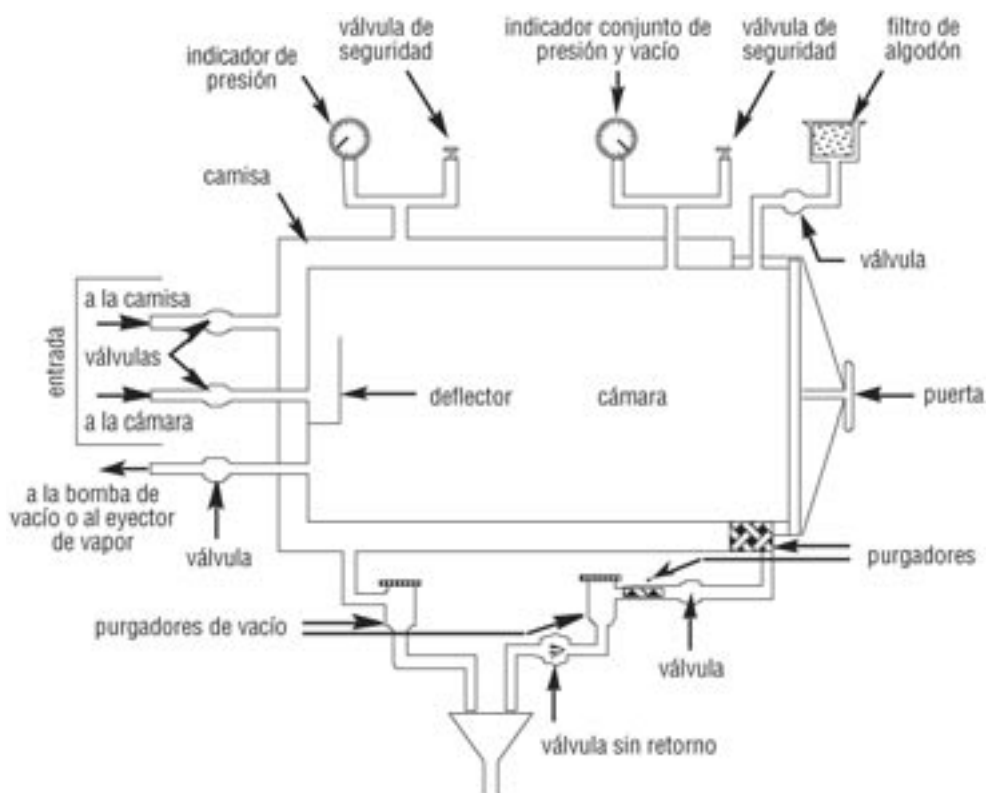


Figure 10. **Autoclave de desplazamiento por gravedad**

gravedad. Se cargan desde arriba y se calientan con gas, electricidad u otro combustible. El vapor se produce por el calentamiento del agua en la base del recipiente; el aire se desplaza en sentido ascendente por una abertura de descarga. Cuando se ha sacado todo el aire, la válvula de la abertura de descarga se cierra y se reduce el calor. La presión y la temperatura aumentan hasta que la válvula de seguridad funciona en el nivel preestablecido. Este es el comienzo del tiempo de retención. Al final del ciclo se cierra la fuente de calor y se deja que la temperatura descienda a 80 °C o menos antes de abrir la tapa.

Carga de las autoclaves

El material y los objetos que se vayan a esterilizar deben agruparse sin apretarlos en la cámara, de modo que el vapor pueda circular sin dificultad y el aire pueda salir fácilmente. Las bolsas deben permitir que el vapor penetre en su contenido.

Precauciones en el uso de las autoclaves

Las reglas siguientes pueden reducir al mínimo los riesgos derivados del manejo de cualquier recipiente a presión.

1. El manejo y el mantenimiento ordinario deben ser responsabilidad de personas adiestradas.
2. Se realizará a intervalos regulares un programa de mantenimiento preventivo que comprenderá la inspección de la cámara, el sellado de las puertas y todos los calibradores y controles por parte de personal calificado.
3. El vapor de agua estará saturado y exento de sustancias químicas (por ejemplo, inhibidores de la corrosión) que podrían contaminar los objetos que se están esterilizando.
4. Todo el material debe colocarse en recipientes que permitan una fácil evacuación del aire y una buena penetración del calor; la cámara no estará sobrecargada, de modo que el vapor alcance por igual a toda la carga.
5. En las autoclaves que no dispongan de un dispositivo de seguridad que impida que la puerta se abra cuando la cámara está sometida a presión, es indispensable que la válvula central del vapor esté cerrada y que se deje descender la temperatura por debajo de 80 °C antes de abrir la puerta.
6. Cuando se introduzcan líquidos en la autoclave, la evacuación debe ser lenta, pues al sacarlos pueden hervir debido al sobrecalentamiento.
7. Los trabajadores deben llevar guantes y viseras de protección apropiadas al abrir la autoclave, incluso cuando la temperatura haya bajado por debajo de los 80 °C.
8. En la vigilancia regular del funcionamiento de la autoclave, se colocarán indicadores biológicos o termopares en el centro de cada carga. La vigilancia regular mediante termopares y dispositivos de registro colocados en una carga «más desfavorable» es sumamente conveniente para determinar los ciclos de funcionamiento más adecuados.

9. El filtro de la rejilla de drenaje de la cámara (si existe) debe retirarse y limpiarse todos los días.
10. Debe procurarse que las válvulas de descarga de las autoclaves de olla a presión no queden bloqueadas por papel u otro material presente en la carga.

Incineración

La incineración es un método útil para eliminar del laboratorio los cadáveres de animales y los desechos anatómicos y de otro tipo, con o sin descontaminación previa (véase el capítulo 3). La incineración de material infeccioso sólo sustituye al tratamiento en autoclave si el incinerador está sometido a control del laboratorio.

Una incineración correcta exige disponer de un medio eficiente de control de la temperatura y de una cámara de combustión secundaria. Muchos incineradores, especialmente los que tienen una sola cámara de combustión, no resultan satisfactorios para tratar material infeccioso, cadáveres de animales y plásticos. Esos materiales quizá no se destruyan por completo y el efluente de la chimenea puede contaminar la atmósfera con microorganismos, sustancias químicas tóxicas y humo. No obstante, hay muchas configuraciones satisfactorias de las cámaras de combustión; lo ideal es que la temperatura en la cámara primaria sea de al menos 800 °C y en la cámara secundaria de al menos 1000 °C.

Los materiales destinados a la incineración, incluso si se han descontaminado previamente, deben transportarse al incinerador en bolsas, preferiblemente de plástico. Los encargados del incinerador deben recibir instrucciones apropiadas acerca de la carga y el control de la temperatura. También cabe señalar que el funcionamiento eficiente de un incinerador depende en gran medida de que la combinación de materiales en los residuos que se están tratando sea la adecuada.

Las posibles repercusiones ambientales negativas de los incineradores existentes o en proyecto siguen siendo motivo de preocupación, y prosiguen los esfuerzos encaminados a que los incineradores sean más compatibles con el entorno y más eficientes en el uso de energía.

Eliminación de desechos

La eliminación de los desechos médicos y de laboratorio está sometida a varias reglamentaciones regionales, nacionales e internacionales. Deben consultarse las últimas versiones de los documentos pertinentes antes de diseñar y poner en práctica un programa de manipulación, transporte y eliminación final de desechos biológicos peligrosos. En general, las cenizas procedentes de los incineradores pueden tratarse igual que las basuras domésticas corrientes y ser evacuadas por los servicios locales. Los desechos de la autoclave pueden ser eliminados en vertederos autorizados o por incineración fuera del laboratorio (véase el capítulo 3).

Para más información, véanse las referencias 13 y 29 a 39.

15. Introducción al transporte de sustancias infecciosas

El transporte de material infeccioso y potencialmente infeccioso está sometido a reglamentaciones nacionales e internacionales estrictas. Esas reglamentaciones describen el uso apropiado de materiales de embalaje/envasado, además de otros requisitos.

El personal de laboratorio debe enviar las sustancias infecciosas de acuerdo con las normas de transporte aplicables, cuyo cumplimiento permitirá:

1. reducir la probabilidad de que los embalajes/envases se estropeen y derramen su contenido, y con ello
2. reducir el número de exposiciones que den lugar a posibles infecciones, y
3. mejorar la eficiencia de la entrega de los envíos.

Reglamentación internacional en materia de transportes

La reglamentación relacionada con el transporte de material infeccioso por cualquier medio de transporte se basa en las *Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas* (40). Esas recomendaciones de las Naciones Unidas han sido elaboradas por el Comité de Expertos de las Naciones Unidas en Transporte de Mercancías Peligrosas. Para que sea jurídicamente vinculante, la Reglamentación Modelo ha de ser introducida en las normas nacionales y las reglamentaciones modelo internacionales por las autoridades competentes (por ejemplo, las *Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea* (41) de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) en relación con el transporte aéreo, y el *Acuerdo Europeo sobre el Transporte Internacional de Mercaderías Peligrosas por Carretera* (ADR) (42)).

La Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) publica todos los años una guía sobre el transporte de sustancias infecciosas (*Infectious Substances Shipping Guidelines*) (43). La guía de la IATA debe seguir como mínimo las *Instrucciones Técnicas* de la OACI, pero puede imponer restricciones adicionales. Cuando un envío es transportado por un miembro de la Asociación deben seguirse las directrices de la IATA.

Puesto que la *Reglamentación Modelo para el Transporte de Mercancías Peligrosas* es un conjunto dinámico de recomendaciones sometido a modificaciones cada dos años, se remite al lector a las últimas ediciones de las normas nacionales e internacionales para consultar los textos reglamentarios aplicables.

La OMS actúa en calidad de asesora ante el Comité de Expertos de las Naciones Unidas en el Transporte de Mercancías Peligrosas. En la 13ª edición (2003) de la *Reglamentación Modelo* de las Naciones Unidas se introdujeron importantes cambios, especialmente en lo que atañe a las sustancias infecciosas (40). Puede solicitarse a la OMS orientación sobre los antecedentes de las enmiendas adoptadas (44).

La reglamentación internacional no pretende reemplazar las normas locales o nacionales. Sin embargo, en las situaciones en que no existan normas nacionales, debe seguirse la reglamentación internacional.

Es importante señalar que el transporte internacional de las sustancias infecciosas también depende de la normativa nacional en materia de importación y exportación.

El sistema básico de embalaje/envasado triple

El sistema de embalaje/envasado triple, que es el preferible para el transporte de sustancias infecciosas y potencialmente infecciosas, se muestra a modo de ejemplo en la figura 11. Este sistema de embalaje/envasado consta de tres componentes: el recipiente primario, el embalaje/envase secundario y el embalaje/envase externo.

El recipiente primario que contiene la muestra debe ser estanco, a prueba de fugas y estar debidamente etiquetado en relación con el contenido. Debe ir envuelto en material absorbente suficiente para absorber todo el líquido en caso de rotura o fuga.

El recipiente primario se introduce en un segundo embalaje/envase protector estanco y a prueba de fugas. Pueden colocarse varios recipientes primarios en un solo embalaje/envase secundario. En algunos textos reglamentarios se incluyen límites en relación con el volumen o el peso de las sustancias infecciosas envasadas.

El embalaje/envase externo protege el embalaje/envase secundario de los daños físicos durante el transporte. Los formularios de datos relativos a la muestra, las cartas y demás material informativo que permitan identificarla o describirla, así como identificar al remitente y al destinatario, junto con toda la demás documentación exigida, también se incluirán de acuerdo con la reglamentación vigente.

La *Reglamentación Modelo* de las Naciones Unidas prescribe el uso de dos sistemas diferentes de envasado triple. El sistema básico es el indicado para el transporte de diversas sustancias infecciosas, pero los organismos de alto riesgo deben enviarse siguiendo normas más estrictas. Para más detalles sobre el uso de los distintos envases según los materiales que se vayan a enviar, se aconseja al lector que consulte la reglamentación nacional o internacional para conocer los textos normativos aplicables.

Procedimiento de limpieza de derrames

En caso de que se produzca un derrame de material infeccioso o potencialmente infeccioso, se aplicará el siguiente procedimiento de limpieza:

1. Utilizar guantes y ropa protectora, e incluso protección facial y ocular si estuviera indicada.

Embalaje/ensado y etiquetado de sustancias infecciosas de la categoría A



Embalaje/ensado y etiquetado de sustancias infecciosas de la categoría B



Figura 11. **Ejemplos de sistemas de embalaje/ensado triple**
(Ilustraciones amablemente cedidas por la IATA, Montreal (Canadá))

2. Cubrir el derrame con paños o papel absorbente para contenerlo.
3. Verter un desinfectante apropiado sobre el papel absorbente y la zona inmediatamente circundante (en general, son apropiadas las soluciones de lejía al 5%; sin embargo, para los derrames en aeronaves deben utilizarse desinfectantes a base de amonio cuaternario).
4. Aplicar el desinfectante en círculos concéntricos, comenzando por el exterior de la superficie del derrame y procediendo hacia el centro.
5. Después del tiempo necesario (por ejemplo, 30 minutos), retirar todos los materiales. Si hay vidrios rotos u objetos punzantes, juntarlos con una pala o un trozo de cartón rígido y depositarlos en un recipiente a prueba de perforaciones para su eliminación.
6. Limpiar y desinfectar la zona afectada por el derrame (en caso necesario, repetir los pasos 2 a 5).
7. Colocar el material contaminado en un recipiente para desechos a prueba de fugas y de perforaciones.
8. Tras una desinfección satisfactoria, informar a las autoridades competentes de que el lugar ha quedado descontaminado.

PARTE V

Introducción a la biotecnología

16. Bioseguridad y tecnología del ADN recombinante

La tecnología del ADN recombinante entraña la combinación de información genética procedente de distintas fuentes para crear organismos genéticamente modificados (OGM) que pueden no haber existido antes en la naturaleza. En un principio, los especialistas en biología molecular expresaron cierta preocupación por la posibilidad de que esos organismos tuvieran propiedades impredecibles y perjudiciales y pudieran representar un riesgo biológico en caso de que salieran de los laboratorios. Esa preocupación fue el objeto de una conferencia científica celebrada en Asilomar (California, EE.UU.) en 1975 (45), en la que se debatieron cuestiones de seguridad y se propusieron las primeras directrices en materia de tecnología del ADN recombinante. La experiencia obtenida a lo largo de los más de 25 años de investigación que siguieron ha demostrado que la ingeniería genética puede desarrollarse en condiciones de seguridad cuando se realizan las debidas evaluaciones de riesgos y se adoptan las medidas de seguridad apropiadas.

La tecnología del ADN recombinante, también conocida como ingeniería genética, se utilizó por primera vez para clonar fragmentos de ADN en huéspedes bacterianos a fin de sobreexpresar productos génicos concretos destinados al estudio. Las moléculas de ADN recombinante también se han utilizado para crear organismos genéticamente modificados, como animales transgénicos o con genes inactivados (*knock-out*), así como plantas transgénicas.

Esta tecnología ya ha tenido un enorme impacto en la biología y la medicina, y probablemente tenga una influencia aún mayor en el futuro, ahora que se ha determinado la secuencia completa de nucleótidos del genoma humano. Gracias a la ingeniería genética podrán estudiarse decenas de miles de genes cuya función aún se desconoce. La terapia génica puede llegar a convertirse en el tratamiento habitual de ciertas enfermedades, y probablemente se obtengan nuevos vectores para la transferencia de genes mediante técnicas de ingeniería genética. Además, las plantas transgénicas producidas mediante esta tecnología pueden desempeñar un papel cada vez más importante en la agricultura moderna.

Los experimentos que supongan la creación o el uso de OGM deben realizarse después de efectuar una evaluación del riesgo biológico. Las propiedades patógenas y cualquier peligro potencial asociado a esos organismos pueden ser nuevos y no estar bien caracterizados. Hay que evaluar las propiedades del organismo donante, la naturaleza de las secuencias de ADN que van a transferirse, las propiedades del

organismo receptor y las propiedades del entorno. Esos factores ayudarán a determinar el nivel de bioseguridad que se necesita para manipular sin riesgo el OGM resultante y a identificar los sistemas de contención biológica y física que habrá que emplear.

Consideraciones de bioseguridad en relación con los sistemas de expresión biológica

Los sistemas de expresión biológica constan de vectores y células huésped. Para que sean eficaces y puedan utilizarse sin riesgo, es preciso satisfacer varios criterios. Un ejemplo de sistema de expresión biológica es el plásmido pUC18, que se utiliza a menudo como vector de clonación en combinación con células de *Escherichia coli* K12 y ha sido completamente secuenciado. De su plásmido precursor pBR322 se han eliminado todos los genes necesarios para la expresión en otras bacterias. *E. coli* K12 es una cepa no patógena que no puede colonizar permanentemente el intestino del ser humano ni de los animales sanos. Pueden llevarse a cabo sin riesgo experimentos ordinarios de ingeniería genética en *E. coli* K12/pUC18 en el nivel de bioseguridad 1, siempre que los productos de la expresión de ADN extraño insertado no exijan mayores niveles de bioseguridad.

Consideraciones de bioseguridad en relación con los vectores de expresión

Puede ser necesario trabajar en niveles de bioseguridad más altos en los siguientes casos:

1. Cuando la expresión de secuencias de ADN derivadas de organismos patógenos pueda aumentar la virulencia del OGM
2. Cuando las secuencias de ADN insertadas no estén bien caracterizadas, por ejemplo durante la preparación de genotecas de ADN genómico de microorganismos patogénicos
3. Cuando los productos génicos puedan tener actividad farmacológica
4. Cuando los productos génicos sean toxinas.

Vectores víricos para la transferencia de genes

Los vectores víricos, por ejemplo los de adenovirus, se utilizan para transferir genes a otras células. Esos vectores carecen de ciertos genes necesarios para la replicación vírica y son propagados en líneas celulares que complementan el defecto.

Las poblaciones de esos vectores pueden contaminarse con virus que tienen intacta la capacidad de replicación, generados por sucesos poco frecuentes de recombinación espontánea en las líneas celulares de propagación, o procedentes de una purificación insuficiente. Esos vectores deben manipularse al mismo nivel de bioseguridad que el adenovirus del que proceden.

Animales transgénicos y con genes inactivados (*knock-out*)

Los animales que llevan información genética extraña (animales transgénicos) deben manipularse en niveles de contención apropiados para las características de los pro-

ductos de los genes extraños. Los animales en los que se han suprimido de forma selectiva ciertos genes (*knock-out*) no suelen entrañar riesgos biológicos particulares.

Cabe citar como ejemplos de animales transgénicos los animales que expresan receptores de virus normalmente incapaces de infectar a esa especie. Si esos animales salieran del laboratorio y transmitieran el transgén a la población animal salvaje, en teoría podría generarse un reservorio animal de esos virus en particular.

Esta posibilidad se ha examinado en el caso de los poliovirus y es particularmente pertinente en el contexto de la erradicación de la poliomielitis. Los ratones transgénicos, generados en distintos laboratorios, que expresaban el receptor de poliovirus humanos eran susceptibles a la infección por poliovirus por varias vías de inoculación, y la enfermedad resultante era análoga a la poliomielitis humana desde los puntos de vista histopatológico y clínico. Sin embargo, el modelo murino difiere del ser humano en que la replicación de los poliovirus administrados por vía oral en el tubo digestivo es poco eficiente o no se produce. Por consiguiente, es muy poco probable que, de escaparse esos ratones transgénicos de un laboratorio, se generase un nuevo reservorio animal de poliovirus. A pesar de todo, este ejemplo indica que en cada nueva línea de animales transgénicos es preciso efectuar estudios detallados para determinar las vías por las que pueden infectarse los animales, el tamaño del inóculo necesario para que se produzca una infección y el grado de excreción de virus por parte de los animales infectados. Además, deben adoptarse todas las medidas posibles para garantizar una contención estricta de los ratones transgénicos receptores.

Plantas transgénicas

Las plantas transgénicas que expresan genes que confieren tolerancia a los herbicidas o resistencia a los insectos son actualmente objeto de una controversia considerable en muchos lugares del mundo. El debate gira en torno a la seguridad de esas plantas cuando se utilizan como alimentos, así como a las consecuencias ecológicas a largo plazo de su cultivo.

Las plantas transgénicas que expresan genes de origen animal o humano se utilizan para elaborar productos medicinales y nutricionales. Una evaluación del riesgo determinará el nivel de bioseguridad más apropiado para la producción de esas plantas.

Evaluación de riesgos en relación con los organismos genéticamente modificados

Las evaluaciones de riesgos para trabajar con organismos genéticamente modificados (OGM) deben tener en cuenta las características de los organismos donantes y los organismos receptores/huéspedes.

Entre los ejemplos de características que hay que tener presentes cabe citar:

Riesgos derivados directamente del gen insertado (organismo donante)

Es preciso realizar una evaluación en aquellas situaciones en las que el producto del gen insertado tenga una actividad biológica o farmacológica que pueda resultar dañina, como:

1. Toxinas
2. Citoquinas
3. Hormonas
4. Reguladores de la expresión génica
5. Factores de virulencia o potenciadores de la virulencia
6. Secuencias oncogénicas
7. Resistencia a antibióticos
8. Alérgenos.

El examen de esos casos debe incluir una estimación del nivel de expresión necesario para conseguir actividad biológica o farmacológica.

Riesgos asociados al receptor/huésped

1. Susceptibilidad del huésped
2. Patogenicidad de la cepa huésped, incluida la virulencia, la infectividad y la producción de toxinas
3. Modificación de la gama de huéspedes
4. Estado inmunitario del receptor
5. Consecuencias de la exposición.

Riesgos derivados de la alteración de rasgos patogénicos existentes

Muchas modificaciones no utilizan genes cuyos productos sean intrínsecamente nocivos, pero pueden producirse efectos adversos de resultados de la alteración de características patogénicas o no patogénicas existentes. La modificación de genes normales puede alterar la patogenicidad. Para intentar determinar esos riesgos, pueden tenerse en cuenta los siguientes aspectos (la lista no es exhaustiva):

1. ¿Hay un aumento de la infectividad o la patogenicidad?
2. ¿Podría superarse cualquier mutación incapacitante en el receptor de resultados de la inserción del gen extraño?
3. ¿Codifica el gen extraño un determinante de patogenicidad de otro organismo?
4. Si el ADN extraño incluye un determinante de patogenicidad, ¿cabe prever que ese gen pudiera contribuir a la patogenicidad del OGM?
5. ¿Se dispone de tratamiento?
6. ¿Se verá afectada la susceptibilidad del OGM a los antibióticos u otra forma de tratamiento a consecuencia de la modificación genética?
7. ¿Podría conseguirse la erradicación del OGM?

Otras consideraciones

El uso de animales o plantas enteras con fines experimentales también merece una consideración cuidadosa. Los investigadores deben cumplir las normas, restricciones y requisitos para trabajar con OGM vigentes en los países y las instituciones en los que se desarrolla su labor.

Los países pueden contar con autoridades nacionales encargadas de elaborar directrices para trabajar con OGM que pueden ayudar a los científicos a clasificar su labor en el nivel de bioseguridad apropiado. En algunos casos la clasificación puede variar de un país a otro; quizá un país decida asignar el trabajo a un nivel más alto o más bajo cuando aparece nueva información sobre un nuevo sistema de vector/huésped.

La evaluación del riesgo es un proceso dinámico que tiene en cuenta los nuevos acontecimientos y los avances científicos. La realización de las debidas evaluaciones del riesgo garantizará que los beneficios de la tecnología del ADN recombinante sigan estando al alcance de la humanidad en los años venideros.

Para más información, consúltense las referencias 17 y 46 a 48.

PARTE VI

Seguridad química y eléctrica y protección contra incendios

17. Sustancias químicas peligrosas

El personal que trabaja en los laboratorios de microbiología está expuesto no sólo a microorganismos patogénicos, sino también a los peligros que entrañan las sustancias químicas. Es importante que el personal tenga los debidos conocimientos acerca de los efectos tóxicos de esas sustancias químicas, las vías de exposición y los peligros que pueden estar asociados a su manipulación y almacenamiento (véase el anexo 5). Los fabricantes y/o proveedores de sustancias químicas facilitan hojas informativas con datos sobre la seguridad de los materiales y otras informaciones sobre los peligros químicos. Esas hojas deben estar disponibles en los laboratorios donde se utilizan esas sustancias, por ejemplo como parte de un manual de seguridad o de operaciones.

Vías de exposición

La exposición a sustancias químicas peligrosas puede darse por las siguientes vías:

1. Inhalación
2. Contacto
3. Ingestión
4. Jeringuillas
5. Heridas en la piel.

Almacenamiento de sustancias químicas

En el laboratorio sólo deben conservarse las cantidades de sustancias químicas que sean necesarias para el uso diario. Las cantidades importantes deben guardarse en locales o edificios destinados especialmente a este fin.

Las sustancias químicas nunca deben almacenarse por orden alfabético.

Normas generales en relación con las incompatibilidades químicas

Para evitar los incendios y/o las explosiones, las sustancias que aparecen en la columna izquierda del cuadro 13 deben almacenarse y manipularse de modo que no puedan entrar en contacto con las sustancias correspondientes de la columna derecha del mismo cuadro.

Efectos tóxicos de las sustancias químicas

Algunas sustancias químicas son perjudiciales para la salud de quienes las manipulan o inhalan sus vapores. Aparte de los venenos manifiestos, hay sustancias que tienen

Cuadro 13. Normas generales en relación con las incompatibilidades químicas

CATEGORÍA DE SUSTANCIAS	SUSTANCIAS INCOMPATIBLES
Metales alcalinos, como el sodio, potasio, cesio y litio	Dióxido de carbono, hidrocarburos clorados, agua
Halógenos	Amoníaco, acetileno, hidrocarburos
Ácidos acético, sulfhídrico y sulfúrico, anilina, hidrocarburos	Agentes oxidantes, como los ácidos crómico y nítrico, los peróxidos o los permanganatos

diversos efectos tóxicos. Las vías respiratorias, la sangre, los pulmones, el hígado, los riñones y el aparato digestivo, así como otros órganos y tejidos, pueden sufrir efectos adversos o padecer lesiones graves. Se sabe que ciertas sustancias químicas son cancerígenas o teratógenas.

La inhalación de los vapores de ciertos disolventes puede tener efectos tóxicos. Además de los efectos más graves antes señalados, la exposición puede provocar trastornos que, aunque no tengan efectos inmediatamente apreciables en la salud, en ocasiones producen síntomas como falta de coordinación, embotamiento y otros análogos, que pueden aumentar la propensión a los accidentes.

La exposición prolongada o repetida a la fase líquida de muchos disolventes orgánicos puede provocar lesiones cutáneas. Ello puede deberse al efecto lipolítico de los disolventes, pero también pueden presentarse efectos corrosivos y alérgicos.

Para más información acerca de los efectos tóxicos de las sustancias químicas, véase el anexo 5.

Sustancias químicas explosivas

Las azidas, que a menudo se utilizan en soluciones antibacterianas, no deben entrar en contacto con el cobre ni el plomo (por ejemplo, en tuberías de desagüe y alcantarillado), ya que pueden explotar violentamente cuando se someten a un impacto, aunque sea ligero.

Los éteres que se conservan desde hace tiempo y que han cristalizado son sumamente inestables y potencialmente explosivos.

El ácido perclórico, si se deja que se seque en la madera, ladrillos o tejidos, explotará y provocará un incendio con el impacto.

El ácido pícrico y los picratos detonan por la acción del calor y los impactos.

Derrame de sustancias químicas

La mayoría de los fabricantes de sustancias químicas para laboratorios distribuyen gráficos que describen los métodos para tratar los derrames. También se encuentran en el comercio gráficos y estuches de material para casos de derrame. Los gráficos

pertinentes deberán exponerse en el laboratorio en lugar destacado. También deberá disponerse del siguiente equipo:

1. Estuches especiales de material para derrames químicos
2. Ropa protectora: guantes de goma fuertes, chanclos o botas de agua, mascarillas respiratorias
3. Escobas y palas para el polvo
4. Pinzas para recoger los trozos de vidrio
5. Bayetas, trapos y toallas de papel
6. Cubos
7. Carbonato sódico (Na_2CO_3) o bicarbonato sódico (NaHCO_3) para neutralizar ácidos y sustancias químicas corrosivas
8. Arena (para cubrir los derrames de sustancias alcalinas)
9. Detergente no inflamable.

En caso de que se produzca un derrame químico importante, debe procederse como sigue:

1. Notificar el incidente al funcionario de seguridad que corresponda.
2. Evacuar del local al personal no indispensable.
3. Atender a las personas que puedan haberse contaminado.
4. Si el material derramado es inflamable, extinguir todas las llamas desnudas, cortar el gas del local afectado y de los locales adyacentes, abrir las ventanas (si es posible), y cortar la electricidad de los aparatos que puedan producir chispas.
5. Evitar la respiración de vapores del material derramado.
6. Establecer una ventilación de salida si es posible hacerlo con seguridad.
7. Obtener el material necesario (véase más arriba) para limpiar el material derramado.

Gases comprimidos y licuados

En el cuadro 14 se ofrece información sobre el almacenamiento de gases comprimidos y licuados.

Cuadro 14. Almacenamiento de gases comprimidos y licuados

RECIPIENTE	INFORMACIÓN SOBRE EL ALMACENAMIENTO
Bombonas de gas comprimido y recipientes de gas licuado ^{a,b}	• Se fijarán de forma segura (por ejemplo, con una cadena) a la pared o a una mesa sólida, para que no puedan soltarse inadvertidamente. • Se transportarán debidamente tapadas y en carretillas. • Las bombonas de reserva se guardarán en otro edificio a alguna distancia del laboratorio; el local estará bien cerrado y debidamente identificado. • No se situarán cerca de radiadores, llamas desnudas u otras fuentes de calor, aparatos eléctricos que produzcan chispas o bajo la luz solar directa.
Bombonas pequeñas de gas de un solo uso ^{a,b}	• No deben incinerarse.

^a La válvula principal de alta presión debe cerrarse cuando el equipo no esté en uso y cuando el local esté vacío.

^b Los locales donde se utilicen bombonas de gas inflamable deben identificarse mediante signos de advertencia en las puertas.

Si se desea más información, véanse las referencias 1 y 49 a 51, y el anexo 5.

18. Otros peligros en el laboratorio

El personal que trabaja en el laboratorio puede enfrentarse a peligros debidos a formas de energía como el fuego, la electricidad, las radiaciones o el ruido. En este capítulo se ofrece información acerca de cada una de ellas.

Peligro de incendio

Es indispensable que haya una estrecha cooperación entre los funcionarios de seguridad y los servicios locales de prevención de incendios. Aparte de los riesgos debidos a las sustancias químicas, deben examinarse los efectos del incendio en la posible diseminación de material infeccioso. Esto puede ser determinante a la hora de decidir si es preferible extinguir o contener el incendio.

Conviene contar con la ayuda de los servicios locales de prevención de incendios para la capacitación del personal del laboratorio en lo que se refiere a la prevención de incendios, las medidas inmediatas en caso de incendio y el uso del equipo de lucha contra incendios.

En cada sala y en los pasillos y vestíbulos deben figurar de forma destacada advertencias sobre incendios, instrucciones e indicaciones de las vías de salida.

Las causas más comunes de incendios en los laboratorios son las siguientes:

1. Sobrecarga de los circuitos eléctricos
2. Mal mantenimiento de la instalación eléctrica, como cables mal aislados o con el aislante en mal estado
3. Tuberías de gas y cables eléctricos demasiado largos
4. Equipo que se deja conectado sin necesidad
5. Equipo que no está diseñado para el laboratorio
6. Llamas desnudas
7. Tuberías de gas en mal estado
8. Manipulación y almacenamiento indebidos de material inflamable o explosivo
9. Separación indebida de sustancias químicas incompatibles
10. Aparatos que producen chispas en las proximidades de sustancias y vapores inflamables
11. Ventilación indebida o insuficiente.

El equipo de lucha contra incendios debe colocarse cerca de las puertas de las salas y en puntos estratégicos de los pasillos y vestíbulos. Ese equipo debe comprender

Cuadro 15. Tipos y usos de extintores de incendios

TIPO	USO	NO USAR PARA:
Agua	Papel, madera, tejidos	Incendios eléctricos, líquidos inflamables, metales incendiados
Gases extintores de CO ₂	Líquidos y gases inflamables, incendios eléctricos	Metales alcalinos, papel
Polvo seco	Líquidos y gases inflamables, metales alcalinos, incendios eléctricos	Equipo e instrumentos reutilizables, pues los residuos son muy difíciles de eliminar
Espuma	Líquidos inflamables	Incendios eléctricos

mangueras, cubos (de agua o arena) y un extintor. Los extintores deben ser inspeccionados y mantenidos periódicamente y debe respetarse su vida útil. En el cuadro 15 se indican los tipos y usos particulares de los extintores de incendios.

Para más información consúltese la referencia 49.

Peligros eléctricos

Es indispensable que todas las instalaciones y el equipo eléctricos sean inspeccionados y probados con regularidad, incluida la toma de tierra.

Los circuitos eléctricos del laboratorio que lo requieran deben disponer de interruptores de circuito e interruptores por fallo de la toma de tierra. Los interruptores de circuito no protegen a las personas: están concebidos para proteger los cables de las sobrecargas eléctricas y con ello evitar los incendios. Los interruptores por fallo de la toma de tierra tienen por objeto proteger a las personas contra los choques eléctricos.

Todo el equipo eléctrico del laboratorio debe tener toma de tierra, preferiblemente mediante enchufes de tres espigas.

Todo el equipo eléctrico del laboratorio debe ajustarse a las normas y los códigos nacionales de seguridad eléctrica.

Ruido

El exceso de ruido es perjudicial con el tiempo. Algunos tipos de equipo de laboratorio, como ciertos sistemas de láser, así como las instalaciones que albergan animales, pueden exponer a los trabajadores a un ruido considerable. Pueden realizarse mediciones del ruido para determinar el riesgo correspondiente. Cuando así lo justifiquen los datos, cabe estudiar la posibilidad de instalar controles técnicos como cubiertas o barreras en torno al equipo ruidoso o entre las zonas ruidosas y otras zonas

de trabajo. En los lugares donde no pueda reducirse en nivel de ruido y el personal del laboratorio sufra habitualmente una exposición excesiva, debe ponerse en marcha un programa de conservación de la audición que incluya el uso de protección auditiva cuando se trabaja en condiciones de ruido excesivo y un programa de vigilancia médica para determinar los efectos del ruido en los trabajadores.

Radiaciones ionizantes

La protección radiológica trata de proteger a los seres humanos contra los efectos perjudiciales de las radiaciones ionizantes, entre los que se incluyen los siguientes:

1. Efectos somáticos, por ejemplo síntomas clínicos observables en las personas expuestas. Entre ellos figuran los tumores inducidos por radiaciones, como la leucemia y los cánceres de hueso, pulmón y piel, cuya aparición puede producirse muchos años después de la irradiación. Entre otros efectos somáticos menos graves figuran lesiones cutáneas leves, alopecia, trastornos hematológicos, lesiones gastrointestinales y formación de cataratas.
2. Efectos hereditarios, es decir síntomas observados en los descendientes de los individuos expuestos. Los efectos hereditarios de la exposición de las gónadas incluyen las lesiones cromosómicas y las mutaciones génicas. La irradiación de las células germinales de las gónadas en dosis elevadas también puede provocar la muerte celular, que produce trastornos de la fecundidad en ambos sexos o cambios menstruales en las mujeres. La exposición del feto, particularmente entre las semanas 8ª a 15ª del embarazo, puede aumentar el riesgo de malformaciones congénitas, deficiencias mentales o cánceres inducidos por la radiación más adelante en la vida.

Principios de la protección contra las radiaciones ionizantes

Para limitar los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, el uso de radioisótopos debe ser controlado y cumplir las normas nacionales aplicables. La protección contra las radiaciones debe seguir cuatro principios:

1. Reducir al mínimo el tiempo de exposición a la radiación.
 2. Aumentar al máximo la distancia de la fuente de radiación.
 3. Proteger la fuente de radiación.
 4. Sustituir el uso de radionúclidos por técnicas no radiométricas.
1. *Tiempo.* El tiempo de exposición durante las manipulaciones de material radioactivo puede reducirse de las siguientes formas:
 - Practicando técnicas nuevas y aún poco conocidas sin utilizar el radionúclido hasta que se dominen esas técnicas
 - Trabajando con los radionúclidos de forma concienzuda y oportuna, sin prisas
 - Velando por que todas las fuentes radioactivas se devuelvan a su lugar de almacenamiento inmediatamente después de usarlas
 - Retirando los residuos radioactivos del laboratorio a intervalos frecuentes

- Pasando el menor tiempo posible en la zona de radiaciones del laboratorio
- Gestionando y planificando con eficiencia el tiempo de manipulación de material radiactivo en el laboratorio.

Cuanto menos tiempo se pase en un campo de irradiación, menor será la dosis personal recibida, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\text{Dosis} = \text{Intensidad de la dosis} \times \text{Tiempo}$$

2. *Distancia.* La intensidad de la dosis de la mayor parte de las radiaciones γ y X es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente:

$$\text{Intensidad de la dosis} = \text{Constante} \times \text{Distancia}^2$$

Si se duplica la distancia a la fuente de radiación, la exposición queda reducida a la cuarta parte en el mismo periodo de tiempo. Se utilizan diversos dispositivos y aparatos auxiliares para aumentar la distancia entre el trabajador y la fuente de radiación, como pinzas largas, abrazaderas y pipeteadores a distancia. Obsérvese que un pequeño aumento de la distancia puede dar lugar a una disminución considerable de la intensidad de la dosis.

3. *Blindaje.* Los blindajes que absorben o atenúan la radiación, situados entre la fuente y el trabajador u otros ocupantes del laboratorio, ayudarán a limitar su exposición. El tipo y el grosor de cualquier material de blindaje dependen de la capacidad de penetración (tipo y energía) de la radiación. Una barrera de 1,3–1,5 cm de material acrílico, madera o metal ligero protege contra partículas β de alta energía, mientras que para proteger contra las radiaciones γ y X de alta energía se necesita plomo de alta densidad.
4. *Sustitución.* Los materiales basados en radionúclidos no deben utilizarse si hay otras técnicas disponibles. Si no es posible la sustitución, se utilizará el radionúclido que tenga el menor poder de penetración o la menor energía.

Sistemas seguros de trabajo con radionúclidos

Las normas relativas al trabajo con sustancias radiactivas deben tener en cuenta cuatro zonas:

1. Zona de radiaciones
2. Zona de mesas de trabajo
3. Zona de desechos radiactivos
4. Registros y respuesta a las emergencias.

Entre las normas más importantes para trabajar con radionúclidos figuran las siguientes:

1. *Zona de radiaciones*
 - Sólo se deben utilizar sustancias radiactivas en zonas exclusivamente destinadas a ello.

Figura 12. **Símbolo internacional de peligro de irradiación**



- Sólo se permitirá la presencia del personal indispensable.
- Se utilizará equipo de protección personal: batas de laboratorio, gafas de seguridad y guantes desechables.
- Se vigilarán las exposiciones del personal a las radiaciones.

Los laboratorios en los que se utilizan radionúclidos deben diseñarse de modo que se simplifiquen las operaciones de contención, limpieza y descontaminación. La zona de trabajo con radionúclidos debe situarse en una pequeña sala adyacente al laboratorio principal o en una zona exclusiva dentro del laboratorio, separada de otras actividades. La entrada a la zona de radiaciones se demarcará con el símbolo internacional de radiación (figura 12):

2. Zona de mesas de trabajo

- Utilizar bandejas para derrames cubiertas con material absorbente desechable.
- Limitar las cantidades de radionúclidos.
- Blindar las fuentes de radiación en las zonas de radiaciones, de mesas de trabajo y de desechos radiactivos.
- Marcar los recipientes de materiales radiactivos con el símbolo apropiado, anotando también la identidad del radionúclido, su actividad y la fecha del análisis.
- Utilizar medidores de la radiación para vigilar las zonas de trabajo, la ropa protectora y las manos una vez terminado el trabajo.
- Utilizar para el transporte recipientes debidamente blindados.

3. Zona de desechos radiactivos

- Retirar con frecuencia los desechos radiactivos de la zona de trabajo.

4. Registros y respuesta de emergencia

- Mantener registros apropiados del uso y la eliminación de material radiactivo.
- Repasar los registros dosimétricos para ver si hay materiales que superan los límites de dosis.

- Elaborar y poner en práctica periódicamente planes de respuesta de emergencia.
- En caso de emergencia, prestar ayuda en primer lugar a las personas heridas.
- Limpiar concienzudamente las zonas contaminadas.
- Pedir asistencia a la oficina de seguridad, si existe.
- Redactar y mantener informes sobre los incidentes.

A large, abstract, light red circular graphic is positioned on the left side of the page. It consists of several concentric, slightly offset circular segments that create a sense of depth and movement, resembling a stylized spiral or a series of overlapping rings.

PARTE VII

Organización y formación en materia de seguridad

19. El funcionario de bioseguridad y el comité de bioseguridad

Es fundamental que cada servicio de laboratorio cuente con una política integral de seguridad, un manual de seguridad y programas de apoyo para su aplicación. La responsabilidad de todo ello incumbe normalmente al director o jefe del instituto o laboratorio de que se trate, quien puede delegar ciertas funciones en un funcionario de bioseguridad o en otros especialistas apropiados.

La seguridad de laboratorio incumbe asimismo a todos los supervisores y empleados del laboratorio; cada empleado deberá ser responsable de su propia seguridad y de la de sus colegas. Se espera de los empleados que lleven a cabo su trabajo en condiciones de seguridad y comuniquen a sus supervisores cualesquiera actos, condiciones o incidentes que atenten contra la seguridad. Conviene que personal interno o externo realice evaluaciones periódicas de la seguridad.

Funcionario de bioseguridad

Siempre que sea posible se designará un funcionario de bioseguridad cuya misión consistirá en cerciorarse de que en todo el laboratorio se apliquen los planes y programas de bioseguridad. Ese funcionario desempeñará esas funciones en nombre del director del instituto o laboratorio. En las instituciones pequeñas, el funcionario de bioseguridad puede ser un microbiólogo o un técnico, miembro del personal, que se encargue a tiempo parcial de las funciones de seguridad. Sea cual sea el grado de participación en las labores de bioseguridad, la persona designada deberá poseer la competencia profesional necesaria para sugerir, revisar y aprobar actividades concretas que sigan los procedimientos apropiados de contención biológica y bioseguridad. El funcionario de bioseguridad aplicará las normas, los reglamentos y las directrices nacionales e internacionales pertinentes, además de ayudar al laboratorio a elaborar procedimientos normalizados de operación. La persona designada deberá tener formación técnica en microbiología y bioquímica, así como en ciencias físicas y biológicas básicas. También es muy conveniente que tenga conocimiento de las prácticas clínicas y de laboratorio y de la seguridad en esos entornos, incluido el equipo de contención, así como de los principios de construcción técnica relacionados con el diseño, el funcionamiento y el mantenimiento de las instalaciones. También debe tener capacidad para comunicarse de manera eficaz con el personal administrativo, técnico y de apoyo.

Entre las actividades del funcionario de bioseguridad deben figurar las siguientes:

1. Atender consultas sobre protección biológica, bioseguridad y cumplimiento de las condiciones técnicas.
2. Realizar auditorías internas periódicas en materia de bioseguridad, en particular de los métodos, procedimientos y protocolos técnicos, los agentes biológicos, el material y el equipo.
3. Examinar las infracciones de los protocolos o los procedimientos de bioseguridad con las personas apropiadas.
4. Verificar que todo el personal ha recibido la capacitación apropiada en materia de bioseguridad.
5. Impartir formación continua en materia de bioseguridad.
6. Investigar incidentes que entrañen la posible fuga de material potencialmente infeccioso o tóxico, y comunicar los resultados y las recomendaciones al director del laboratorio y al comité de bioseguridad.
7. Coordinar con el personal médico la atención a posibles infecciones adquiridas en el laboratorio.
8. Asegurar una descontaminación apropiada tras los derrames u otros incidentes con materiales infecciosos.
9. Garantizar la correcta manipulación y eliminación de los desechos.
10. Velar por una descontaminación apropiada de cualquier aparato antes de su reparación o revisión.
11. Conocer las actitudes de la comunidad en relación con consideraciones sanitarias y ambientales.
12. Establecer procedimientos apropiados para la importación y exportación de material patógeno por el laboratorio, de acuerdo con la reglamentación nacional.
13. Revisar los aspectos de bioseguridad de todos los planes, protocolos y procedimientos de operación para el trabajo de investigación con agentes infecciosos antes de la puesta en práctica de esas actividades.
14. Instituir un sistema para hacer frente a las emergencias.

Comité de bioseguridad

Debe constituirse un comité de bioseguridad encargado de formular las políticas y elaborar los códigos de prácticas de la institución en materia de bioseguridad. Ese comité también examinará los protocolos de investigación para el trabajo con agentes infecciosos, animales, ADN recombinante y material genéticamente modificado. Otras funciones del comité pueden ser la evaluación de riesgos, la formulación de nuevas políticas de seguridad y la solución de controversias sobre cuestiones relativas a la seguridad.

La composición del comité de bioseguridad debe reflejar las distintas esferas ocupacionales de la organización, así como su experiencia científica. La composición de un comité de bioseguridad básico puede incluir a los siguientes especialistas:

1. Funcionario(s) de bioseguridad
2. Personal científico
3. Personal médico
4. Veterinarios (si se trabaja con animales)
5. Representantes del personal técnico
6. Representantes de la dirección del laboratorio.

El comité de bioseguridad debe recurrir al asesoramiento de distintos especialistas en seguridad y funcionarios de otros departamentos (protección radiológica, seguridad industrial, prevención de incendios, etc.). A veces puede ser necesario solicitar asesoramiento a expertos independientes en distintos campos afines, así como a las autoridades locales y a los organismos nacionales de reglamentación. Los miembros de la comunidad también pueden ser de ayuda si se trata de protocolos particularmente polémicos o delicados.

20. Reglas de seguridad para el personal de apoyo

El buen funcionamiento y la seguridad de un laboratorio dependen en gran medida del personal auxiliar, por lo que es indispensable que ese personal esté correctamente capacitado en materia de seguridad.

Mecánicos y personal de mantenimiento del edificio

Este personal, dedicado al mantenimiento y reparación de la estructura, las instalaciones y el equipo, debe tener algunos conocimientos sobre el tipo de trabajo que se realiza en el laboratorio, así como de las normas y los procedimientos en materia de seguridad. Las pruebas a las que hay que someter el equipo después de las revisiones, como la verificación de la eficiencia de las CSB tras la instalación de nuevos filtros, debe ser realizada por el funcionario de bioseguridad o efectuarse bajo la supervisión de éste.

Los laboratorios o instituciones que no cuenten con servicios técnicos de mantenimiento internos deben entablar buenas relaciones con los proveedores locales de servicios para que se familiaricen con el equipo y el trabajo que se hace en el laboratorio.

Los mecánicos del personal de mantenimiento solamente deben acceder a los laboratorios de los niveles de bioseguridad 3 y 4 con la aprobación y la supervisión del funcionario de bioseguridad o del supervisor del laboratorio.

Personal de limpieza

Los laboratorios de los niveles de bioseguridad 3 y 4 deben ser limpiados por el personal del laboratorio. El personal de limpieza sólo debe entrar en los laboratorios de esos niveles de bioseguridad con la aprobación y bajo la supervisión del funcionario de bioseguridad o del supervisor del laboratorio.

21. Programas de capacitación

Para que el personal, tanto técnico como auxiliar, tenga siempre presentes las normas en materia de seguridad es imprescindible organizar un programa de formación continua en el trabajo. Los supervisores del laboratorio, asistidos por el funcionario de bioseguridad y otro personal conexas, desempeñan la función clave en esta labor de formación. La eficacia de la capacitación en materia de bioseguridad, y desde luego todo tipo de capacitación sobre seguridad y salud, depende del compromiso del personal directivo, la motivación, la capacitación profesional inicial, la buena comunicación y, por último, las metas y los objetivos de la organización. A continuación se enumeran algunos de los elementos fundamentales de un programa eficaz de capacitación en bioseguridad:

1. **Evaluación de las necesidades.** Este proceso incluye la definición de las tareas, el orden de importancia (frecuencia, carácter crítico, complejidad) y los pormenores de los pasos necesarios para realizarlas.
2. **Establecimiento de los objetivos de la capacitación.** Se trata de los comportamientos observables que el personal capacitado debe demostrar durante el trabajo, después de la capacitación. Los objetivos pueden reconocer las condiciones en las que se realizan algunas actividades o comportamientos y el nivel necesario de competencia.
3. **Especificación del contenido y los medios para la capacitación.** El contenido son los conocimientos o las técnicas que debe dominar el alumno para poder cumplir los objetivos de comportamiento. Los encargados de definir el contenido del programa de capacitación en bioseguridad suelen ser quienes mejor conocen el trabajo y sus exigencias. También pueden usarse otros métodos, como los basados en los resultados de ejercicios de solución de problemas o en el diseño de medidas de aprendizaje para corregir errores cometidos al aplicar una nueva capacidad. No está claro que un método de enseñanza (charlas, instrucción televisada, instrucción por ordenador, vídeos interactivos, entre otros) sea superior a otros; en gran medida depende de factores como las necesidades de capacitación concretas o la composición del grupo de alumnos, entre otros.
4. **Consideración de las diferencias individuales de aprendizaje.** Una capacitación eficaz debe tener en cuenta las características o los atributos de los distintos alumnos. Las personas y los grupos pueden diferir en sus aptitudes, su grado de instrucción y cultura, su manejo de la expresión verbal y su nivel de conocimientos antes de la capacitación. El criterio que se aplique puede depender de la forma

en que los alumnos ven el programa de capacitación en lo que atañe a la mejora de su rendimiento en el trabajo o su seguridad personal. Algunos alumnos tienen más capacidad para el aprendizaje visual o de carácter práctico; otros aprenden mejor a partir de material impreso. También hay que tener en cuenta las posibles necesidades especiales de algunos alumnos, por ejemplo por si fuera necesario adaptar los cursos para los que tienen problemas de audición. Además de tener presentes todos esos elementos, se recomienda que los encargados de elaborar un programa de capacitación en seguridad se familiaricen con los principios de la enseñanza de adultos.

5. **Condiciones particulares del aprendizaje.** El hecho docente (curso de capacitación, cinta de vídeo, material impreso, entre otros) no debe entrar en conflicto, inhibir o no guardar relación alguna con el dominio de la capacidad o el tema que se está enseñando. Por ejemplo, si el propósito de la instrucción es desarrollar la capacidad para resolver problemas, el método de enseñanza debe hacer hincapié en los criterios de pensamiento/razonamiento más que en la memorización mecánica. La instrucción proporcionada debe exigir un comportamiento productivo o una respuesta apropiada (positiva/precisa/creíble). Además, cuando la capacitación da oportunidades de práctica en condiciones análogas a las del trabajo, se favorece la transferencia de la capacidad adquirida a las condiciones de trabajo reales.
6. **Evaluación de la capacitación.** Proporciona información que ayuda a determinar si la instrucción ha tenido el efecto deseado. En general adopta cuatro formas:
 - Medición de la reacción de los alumnos a la instrucción ofrecida
 - Medición de lo memorizado por los alumnos o de los resultados de los alumnos
 - Evaluación del cambio de comportamiento en el trabajo
 - Medición de resultados tangibles en relación con los objetivos o las metas de la organización.

La evaluación más completa de una actividad de capacitación es la que mide cada una de las cuatro esferas. El método menos eficiente de evaluación es el que se limita a examinar las reacciones de los alumnos a la capacitación, pues ello puede guardar poca relación con lo realmente aprendido, y no debe utilizarse como única medida de la eficacia de la capacitación.

7. **Revisión de la capacitación.** Las evaluaciones de la capacitación raras veces indican que un programa de capacitación sea un éxito o un fracaso completo, ya que se utilizan múltiples criterios para medir los resultados. En general, los datos revelan una mejor comprensión, retención o aplicación de algunas partes del material del curso en comparación con otras. Las variaciones o las deficiencias en los conocimientos o las competencias que se pretendían impartir con la capacitación pueden reflejar la necesidad de dedicar más tiempo a la capacitación, de utilizar otras técnicas de instrucción o de recurrir a instructores mejor preparados.

La OMS dispone de varios módulos de capacitación en seguridad microbiológica.

PARTE VIII

Lista de comprobación
de la seguridad

22. Lista de comprobación de la seguridad

La presente lista de comprobación tiene por objeto facilitar las evaluaciones de la seguridad microbiológica y el estado de seguridad de los laboratorios biomédicos.

Locales del laboratorio

1. ¿Se han tenido en cuenta las directrices de puesta en servicio y certificación en la construcción de los locales o las evaluaciones posteriores a la construcción?
2. ¿Cumplen las instalaciones los requisitos nacionales y locales en materia de construcción, incluidos si es necesario los relativos a precauciones en caso de desastres naturales?
3. ¿Están en general las instalaciones ordenadas, libres de material innecesario, y sin obstáculos?
4. ¿Están limpias las instalaciones?
5. ¿Hay algún defecto estructural en los suelos?
6. ¿Son los suelos y las escaleras uniformes y antideslizantes?
7. ¿Es el espacio de trabajo suficiente para realizar con seguridad todas las operaciones?
8. ¿Son suficientes los espacios de paso y los pasillos para el movimiento de personas y de equipo voluminoso?
9. ¿Están en buen estado las mesas, el mobiliario y los accesorios?
10. ¿Son resistentes las superficies de las mesas a los disolventes y a las sustancias químicas corrosivas?
11. ¿Hay un lavabo en cada sala del laboratorio?
12. ¿Están contruidos y mantenidos los locales de modo que se impida la entrada y la presencia de roedores y artrópodos?
13. ¿Están recubiertas de material aislante o protegidas todas las tuberías no empu-tradas de vapor o agua caliente para proteger al personal?
14. ¿Hay algún medio independiente de suministro de energía en caso de fallo del suministro eléctrico?
15. ¿Puede restringirse el acceso a las zonas de laboratorio al personal autorizado?
16. ¿Se ha efectuado una evaluación del riesgo para asegurar que se dispone del equipo y las instalaciones apropiadas para el trabajo que se va a realizar?

Locales de almacenamiento

1. ¿Se encuentran los locales de almacenamiento, estanterías, etc. dispuestos de modo que el material no pueda resbalar, aplastarse o caer?
2. ¿Se encuentran los locales de almacenamiento libres de material y objetos acumulados y no deseados que puedan provocar caídas, incendiarse y albergar roedores e insectos?
3. ¿Pueden cerrarse con llave los frigoríficos y las zonas de almacenamiento?

Instalaciones de saneamiento y destinadas al personal

1. ¿Se mantiene limpio, ordenado y en buen estado de higiene el conjunto de los locales?
2. ¿Se dispone de agua potable?
3. ¿Se dispone de retretes (WC) limpios y apropiados y de lavabos para empleados y empleadas?
4. ¿Se dispone de agua caliente y fría, jabón y toallas?
5. ¿Existen vestuarios separados para empleados y empleadas?
6. ¿Hay sitio (por ejemplo, taquillas) para la ropa de calle de los miembros del personal?
7. ¿Hay una sala donde el personal pueda comer o descansar?
8. ¿Es tolerable el nivel de ruido?
9. ¿Está bien organizada la recogida y eliminación de basuras domésticas generales?

Calefacción y ventilación

1. ¿Hay una temperatura de trabajo agradable?
2. ¿Están provistas de persianas las ventanas expuestas de lleno a la luz solar?
3. ¿Es suficiente la ventilación, por ejemplo un mínimo de seis cambios de aire por hora, especialmente en las salas que tienen ventilación mecánica?
4. ¿Está equipado el sistema de ventilación con filtros HEPA?
5. ¿Dificulta la ventilación mecánica el flujo de aire dentro y alrededor de las CSB y en los extractores de humos?

Alumbrado

1. ¿Es suficiente la iluminación general (por ejemplo, 300–400 lux)?
2. ¿Están equipadas las mesas de trabajo con iluminación (local) adecuada para las tareas realizadas?
3. ¿Están todas las zonas bien iluminadas, sin rincones oscuros o mal iluminados en los locales y pasillos?
4. ¿Hay lámparas fluorescentes paralelas a las mesas de trabajo?
5. ¿Está equilibrado el color en las lámparas fluorescentes?

Servicios

1. ¿Está cada sala del laboratorio provista de suficientes sumideros y tomas de agua, electricidad y gas para trabajar con seguridad?

2. ¿Existe un programa apropiado de inspección y mantenimiento de fusibles, bombillas, cables, tuberías y otros elementos?
3. ¿Se corrigen las deficiencias en un tiempo razonable?
4. ¿Se dispone de servicios internos de reparación y mantenimiento, con mecánicos y trabajadores capacitados que también tengan algún conocimiento acerca del tipo de trabajo que se realiza en el laboratorio?
5. ¿Se controla y documenta el acceso del personal técnico y de mantenimiento a las diversas zonas del laboratorio?
6. Si no se dispone de servicios internos de reparación y mantenimiento, ¿se ha establecido contacto con mecánicos y constructores locales y se los ha familiarizado con el equipo y el trabajo que se realiza en el laboratorio?
7. ¿Se dispone de servicios de limpieza?
8. ¿Se controla y documenta el acceso del personal de limpieza a las diversas zonas del laboratorio?
9. ¿Se dispone de servicios de tecnología de la información seguros?

Bioprotección en el laboratorio

1. ¿Se ha llevado a cabo una evaluación cualitativa del riesgo para definir los riesgos contra los que debe proteger un sistema de bioprotección?
2. ¿Se han definido los parámetros relativos al riesgo aceptable y la planificación de la respuesta ante incidencias?
3. ¿Se cierra de forma segura todo el edificio cuando no está ocupado?
4. ¿Son las puertas y ventanas a prueba de rotura?
5. ¿Están cerrados con llave los locales que contienen materiales peligrosos y equipo costoso cuando no están ocupados?
6. ¿Se controla y documenta debidamente el acceso a esos locales, equipo y materiales?

Prevención de incendios

1. ¿Existe un sistema de alarma para casos de incendio?
2. ¿Funcionan debidamente las puertas cortafuegos?
3. ¿Funciona bien el sistema de detección de incendios y se prueba con regularidad?
4. ¿Están accesibles los puntos de alarma de incendios?
5. ¿Están todas las salidas iluminadas y convenientemente señalizadas?
6. ¿Está señalizado el acceso a las salidas en todos los casos en que éstas no son inmediatamente visibles?
7. ¿Se encuentran todas las salidas expeditas, libres de decoraciones, muebles o material de trabajo, y sin cerrar cuando el edificio está ocupado?
8. ¿Se han dispuesto los accesos a la salida de manera que no sea necesario atravesar ninguna zona peligrosa para escapar?
9. ¿Conducen todas las salidas a un espacio abierto?

10. ¿Se encuentran los corredores, pasillos y zonas de circulación expeditos y libres de cualquier obstáculo que pueda dificultar el desplazamiento del personal o de material de extinción de incendios?
11. ¿Se encuentran todos los dispositivos y material de lucha contra incendios identificados fácilmente por un color especial?
12. ¿Están completamente cargados y en estado de funcionamiento los extintores de incendios portátiles y se encuentran siempre colocados en los lugares designados?
13. ¿Están equipados con extintores o mantas contra incendios todos los locales del laboratorio expuestos a incendios para un caso de emergencia?
14. Si se utilizan en cualquier local líquidos y gases inflamables, ¿es suficiente la ventilación mecánica para expulsar los vapores sin dejar que alcancen una concentración peligrosa?
15. ¿Está adiestrado el personal para responder en caso de emergencia por un incendio?

Almacenamiento de líquidos inflamables

1. ¿Está el local para almacenar líquidos inflamables a granel separado del edificio principal?
2. ¿Está claramente indicado como zona de riesgo de incendios?
3. ¿Cuenta ese local con un sistema de ventilación por gravedad o un sistema mecánico de evacuación del aire que sea distinto del sistema del edificio principal?
4. ¿Se encuentran los interruptores para el alumbrado cerrados herméticamente o colocados fuera del edificio?
5. ¿Están cerrados herméticamente los dispositivos de alumbrado colocados en el interior a fin de evitar la inflamación de los vapores provocada por chispas?
6. ¿Se almacenan los líquidos inflamables en recipientes adecuados y ventilados, contruidos con materiales no combustibles?
7. ¿Está correctamente descrito el contenido de todos los recipientes en las etiquetas?
8. ¿Se dispone de extintores apropiados o mantas contra incendios colocados fuera del almacén de líquidos inflamables, pero en sus proximidades?
9. ¿Hay carteles de «prohibido fumar» colocados de modo destacado dentro y fuera del almacén de líquidos inflamables?
10. ¿Existen sólo cantidades mínimas de sustancias inflamables almacenadas en los locales del laboratorio?
11. ¿Se utilizan armarios bien contruidos para guardar los productos inflamables?
12. ¿Están esos armarios debidamente rotulados con la mención «Líquidos inflamables – riesgo de incendio»?
13. ¿Está adiestrado el personal para utilizar y transportar correctamente los líquidos inflamables?

Gases comprimidos y licuados

1. ¿Está el contenido de cada recipiente portátil de gas marcado de forma legible y con el debido código de color?
2. ¿Se comprueban regularmente las válvulas de presión alta y reducción de las bombonas de gas comprimido?
3. ¿Se revisan regularmente las válvulas de reducción?
4. ¿Se conectan con un dispositivo de despresurización las bombonas de gas durante su uso?
5. ¿Están todas las bombonas tapadas cuando no se usan o cuando se transportan?
6. ¿Están sujetas todas las bombonas de gas comprimido de manera que no se puedan caer, en particular en caso de catástrofe natural?
7. ¿Están las bombonas y los depósitos de gas de petróleo licuados (GLP) separados de las fuentes de calor?
8. ¿Está debidamente adiestrado el personal para utilizar y transportar gases comprimidos y licuados?

Peligros eléctricos

1. ¿Se aplican las normas nacionales del código de seguridad eléctrica en todas las instalaciones eléctricas nuevas y en todas las reparaciones, modificaciones o sustituciones, así como en las operaciones de mantenimiento?
2. ¿Se utilizan cables de tres hilos, es decir con toma de tierra, en toda la instalación eléctrica interior?
3. ¿Están todos los circuitos del laboratorio equipados con disyuntores e interruptores por fallo de la toma de tierra?
4. ¿Están aprobados todos los aparatos eléctricos por el laboratorio de ensayos?
5. ¿Son los cables flexibles de conexión de todo el equipo lo más cortos posible y se hallan en buen estado, sin desgastes, daños ni empalmes?
6. ¿Se utilizan siempre tomas de corriente de un solo enchufe en vez de tomas múltiples (no hay que emplear adaptadores)?

Protección personal

1. ¿Se facilita ropa protectora apropiada a todo el personal en las tareas habituales (por ejemplo, batas, monos, delantales, guantes)?
2. ¿Se facilita protección adicional para trabajar con sustancias químicas peligrosas y sustancias radiactivas y carcinógenas (por ejemplo, delantales y guantes de goma para las sustancias químicas y para recoger los derrames, o guantes resistentes al calor para descargar autoclaves y estufas)?
3. ¿Se facilitan gafas y viseras de seguridad?
4. ¿Existen medios para el lavado de los ojos?
5. ¿Hay duchas de emergencia?
6. ¿Se ajusta la protección contra las radiaciones a las normas nacionales e internacionales, incluido el suministro de dosímetros?

7. ¿Se dispone de máscaras respiratorias limpias, desinfectadas y comprobadas regularmente, y almacenadas en buen estado de limpieza e higiene?
8. ¿Se suministran filtros apropiados para los tipos correctos de máscaras respiratorias, por ejemplo filtros HEPA para microorganismos, y filtros apropiados para gases o partículas?
9. ¿Se comprueba el ajuste individual de cada máscara respiratoria?

Salud y seguridad del personal

1. ¿Existe un servicio de salud ocupacional?
2. ¿Existen botiquines de primeros auxilios colocados en lugares estratégicos?
3. ¿Se dispone de socorristas capacitados para prestar primeros auxilios?
4. ¿Están esos socorristas capacitados para ocuparse de emergencias típicas del laboratorio, como el contacto con sustancias químicas corrosivas, o la ingestión accidental de venenos y material infeccioso?
5. ¿Está instruido el personal que no trabaja en el laboratorio, por ejemplo el personal de limpieza o el personal administrativo, respecto de los riesgos posibles del laboratorio y del material que en él se manipula?
6. ¿Se han colocado de forma destacada avisos que den información sucinta sobre la localización de los primeros auxilios, los números de teléfono de los servicios de emergencia, etc.?
7. ¿Se ha advertido a las mujeres en edad fecunda de las consecuencias de trabajar con ciertos microorganismos, agentes carcinógenos, mutágenos y teratógenos?
8. ¿Se ha indicado a las mujeres en edad fecunda que, si están embarazadas o tienen sospechas de estarlo, deben informar al miembro correspondiente del personal médico/científico de modo que se establezcan otras disposiciones de trabajo para ellas en caso necesario?
9. ¿Existe un programa de inmunización apropiado para el trabajo que se hace en el laboratorio?
10. ¿Existen pruebas cutáneas y/o instalaciones radiológicas para el personal que trabaja con material tuberculoso u otro material que exija esos medios?
11. ¿Se mantienen convenientemente los registros de enfermedades y accidentes?
12. ¿Se utilizan carteles de advertencia y prevención de accidentes para reducir al mínimo los riesgos laborales?
13. ¿Se adiestra al personal para que siga las prácticas apropiadas en materia de bioseguridad?
14. ¿Se alienta al personal del laboratorio para que notifique las posibles exposiciones?

Material de laboratorio

1. ¿Posee todo el material un certificado de que es seguro para el uso?
2. ¿Se dispone de procedimientos para descontaminar el material antes de las operaciones de mantenimiento?
3. ¿Se comprueban y revisan regularmente las CSB y los extractores de humos?

4. ¿Se inspeccionan con regularidad las autoclaves y otros recipientes presurizados?
5. ¿Se inspeccionan con regularidad los cestillos y rotores de centrifugadora?
6. ¿Se cambian periódicamente los filtros HEPA?
7. ¿Se utilizan pipetas en lugar de agujas hipodérmicas?
8. ¿Se desecha sistemáticamente, sin volverla a utilizar, la cristalería agrietada o astillada?
9. ¿Existen recipientes seguros para la cristalería rota?
10. ¿Se utiliza plástico en lugar de vidrio siempre que es posible?
11. ¿Están disponibles y en uso recipientes de eliminación de objetos punzantes y cortantes?

Material infeccioso

1. ¿Se reciben todas las muestras en condiciones de seguridad?
2. ¿Se mantienen registros de los materiales recibidos?
3. ¿Se desembalan las muestras dentro de la CSB, con cuidado y prestando atención a posibles roturas y escapes?
4. ¿Se utilizan guantes y otras prendas de protección para desempaquetar las muestras?
5. ¿Se adiestra al personal para enviar las sustancias infecciosas de acuerdo con las normas nacionales o internacionales vigentes?
6. ¿Se mantienen limpias y en orden las mesas de trabajo?
7. ¿Se retira diariamente, o con más frecuencia, y en condiciones de seguridad, el material infeccioso desechado?
8. ¿Conocen todos los miembros del personal los procedimientos para tratar roturas y derrames de cultivos y material infeccioso?
9. ¿Se comprueba el rendimiento de los esterilizadores mediante indicadores químicos, físicos y biológicos apropiados?
10. ¿Existe algún procedimiento para descontaminar periódicamente las centrifugadoras?
11. ¿Se dispone de cestillos de cierre hermético para las centrifugadoras?
12. ¿Se utilizan correctamente los desinfectantes apropiados?
13. ¿Se da capacitación especial al personal que trabaja en los laboratorios de contención – nivel de bioseguridad 3 y los laboratorios de contención máxima – nivel de bioseguridad 4?

Sustancias químicas y radiactivas

1. ¿Están efectivamente separadas las sustancias químicas incompatibles cuando se almacenan o se manipulan?
2. ¿Están correctamente etiquetadas con nombres y advertencias todas las sustancias químicas?
3. ¿Se encuentran convenientemente destacados carteles de advertencia sobre el riesgo químico?

4. ¿Se dispone de estuches especiales para la eliminación de derrames?
5. ¿Está capacitado el personal para tratar los derrames?
6. ¿Están almacenadas de modo correcto y seguro todas las sustancias inflamables en cantidad mínima en armarios aprobados?
7. ¿Se dispone de carretillas para el transporte de bombonas?
8. ¿Se dispone de un funcionario de protección radiológica o de un manual de referencia apropiado que se puedan consultar?
9. ¿Está debidamente adiestrado el personal para trabajar de forma segura con material radiactivo?
10. ¿Se mantienen registros correctos de las existencias y el uso de sustancias radiactivas?
11. ¿Existen pantallas contra la radiactividad?
12. ¿Se vigilan las exposiciones personales a la radiación?

PARTE IX

Referencias, anexos
e índice alfabético

Referencias

1. *Safety in health-care laboratories*. Geneva, World Health Organization, 1997, (http://whqlibdoc.who.int/hq/1997/WHO_LAB_97.1.pdf).
2. Garner JS, Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Guideline for isolation precautions in hospitals. *American Journal of Infection Control*, 1996, 24:24–52, (<http://www.cdc.gov/ncidod/hip/isolat/isolat.htm>).
3. Hunt GJ, Tabachnick WJ. Handling small arbovirus vectors safely during biosafety level 3 containment: *Culicoides variipennis sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) and exotic bluetongue viruses. *Journal of Medical Entomology*, 1996, 33:271–277.
4. National Research Council. *Occupational health and safety in the care and use of research animals*. Washington, DC, National Academy Press, 1997.
5. Richmond JY, Quimby F. Considerations for working safely with infectious disease agents in research animals. In: Zak O, Sande MA, eds. *Handbook of animal models of infection*. London, Academic Press, 1999:69–74.
6. *Biosafety in microbiological and biomedical laboratories*, 4th ed. Washington, DC, United States Department of Health and Human Services/Centers for Disease Control and Prevention/National Institutes of Health, 1999.
7. *Class II (laminar flow) biohazard cabinetry*. Ann Arbor, MI, National Sanitation Foundation, 2002 (NSF/ANSI 49–2002).
8. Richmond JY, McKinney RW. *Primary containment for biohazards: selection, installation and use of biological safety cabinets*, 2nd ed. Washington, DC, United States Department of Health and Human Services/Centers for Disease Control and Prevention/National Institutes of Health, 2000.
9. *Microbiological safety cabinets. Recommendations for information to be exchanged between purchaser, vendor and installer and recommendations for installation*. London, British Standards Institution, 1992 (Standard BS 5726–2:1992).
10. *Microbiological safety cabinets. Recommendations for selection, use and maintenance*. London, British Standards Institution, 1992 (Standard BS 5726–4:1992).
11. *Biological containment cabinets (Class I and II): installation and field testing*. Toronto, Canadian Standards Association, 1995 (Standard Z316.3–95 (R2000)).
12. Collins CH, Kennedy DA. *Laboratory acquired infections: history, incidence, causes and prevention*, 4th ed. Oxford, Butterworth-Heinemann, 1999.
13. Health Canada. *Laboratory biosafety manual*, 2nd ed. Ottawa, Minister of Supply and Services Canada, 1996.

14. *Biological safety cabinets – biological safety cabinets (Class I) for personnel and environment protection*. Sydney, Standards Australia International, 1994 (Standard AS 2252.1–1994).
15. *Biological safety cabinets – laminar flow biological safety cabinets (Class II) for personnel, environment and product protection*. Sydney, Standards Australia International, 1994 (Standard AS 2252.2–1994).
16. Standards Australia/Standards New Zealand. *Biological safety cabinets – installation and use*. Sydney, Standards Australia International, 2000 (Standard AS/NZS 2647:2000).
17. Advisory Committee on Dangerous Pathogens. *Guidance on the use, testing and maintenance of laboratory and animal flexible film isolators*. London, Health and Safety Executive, 1990.
18. Standards Australia/Standards New Zealand. *Safety in laboratories – microbiological aspects and containment facilities*. Sydney, Standards Australia International, 2002 (Standard AS/NZS 2243.3:2002).
19. Centers for Disease Control and Prevention. Recommendations for prevention of HIV transmission in health-care settings. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 1987, 36 (Suppl. 2):1S–18S.
20. Bosque PJ et al. Prions in skeletal muscle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, 99:3812–3817.
21. Bartz JC, Kincaid AE, Bessen RA. Rapid prion neuroinvasion following tongue infection. *Journal of Virology*, 2003, 77:583–591.
22. Thomzig A et al. Widespread PrPSc accumulation in muscles of hamsters orally infected with scrapie. *EMBO Reports*, 2003, 4:530–533.
23. Glatzel M et al. Extraneural pathologic prion protein in sporadic Creutzfeldt-Jakob disease. *New England Journal of Medicine*, 2003, 349:1812–1820.
24. Brown P, Wolff A, Gajdusek DC. A simple and effective method for inactivating virus infectivity in formalin-fixed tissue samples from patients with Creutzfeldt-Jakob disease. *Neurology*, 1990, 40:887–890.
25. Taylor DM et al. The effect of formic acid on BSE and scrapie infectivity in fixed and unfixed brain-tissue. *Veterinary Microbiology*, 1997, 58:167–174.
26. Safar J et al. Prions. In: Richmond JY, McKinney RW, eds. *Biosafety in microbiological and biomedical laboratories*, 4th ed. Washington, DC, United States Department of Health and Human Services, 1999:134–143.
27. Bellinger-Kawahara C et al. Purified scrapie prions resist inactivation by UV irradiation. *Journal of Virology*, 1987, 61:159–166.
28. Health Services Advisory Committee. *Safe working and the prevention of infection in clinical laboratories*. London, HSE Books, 1991.
29. Russell AD, Hugo WB, Ayliffe GAJ. *Disinfection, preservation and sterilization*, 3rd ed. Oxford, Blackwell Scientific, 1999.
30. Ascenzi JM. *Handbook of disinfectants and antiseptics*. New York, NY, Marcel Dekker, 1996.

31. Block SS. *Disinfection, sterilization & preservation*, 5th ed. Philadelphia, PA, Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
32. Rutala WA. APIC guideline for selection and use of disinfectants. 1994, 1995, and 1996 APIC Guidelines Committee. Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology, INC. *American Journal of Infection Control*, 1996, 24:313–342.
33. Sattar SA, Springthorpe VS, Rochon M. A product based on accelerated and stabilized hydrogen peroxide: evidence for broad-spectrum germicidal activity. *Canadian Journal of Infection Control*, 1998, 13:123–130.
34. Schneider PM. Emerging low temperature sterilization technologies. In: Rutala WA, eds. *Disinfection & sterilization in health care*. Champlain, NY, Polyscience, 1997:79–92.
35. Springthorpe VS. New chemical germicides. In: Rutala WA, eds. *Disinfection & sterilization in health care*. Champlain, NY, Polyscience, 1997:273–280.
36. Steelman VM. Activity of sterilization processes and disinfectants against prions. In: Rutala WA, eds. *Disinfection & sterilization in health care*. Champlain, NY, Polyscience, 1997:255–271.
37. Taylor DM. Transmissible degenerative encephalopathies: inactivation of the unconventional causal agents. In: Russell AD, Hugo WB, Ayliffe GAJ, eds. *Disinfection, preservation and sterilization*, 3rd ed. Oxford, Blackwell Scientific, 1999:222–236.
38. *Infection control guidelines for hand washing, cleaning, disinfection and sterilization in health care*, 2nd ed. Ottawa, Laboratory Centre for Disease Control, Health Canada, 1998.
39. Springthorpe VS, Sattar SA. Chemical disinfection of virus-contaminated surfaces. *CRC Critical Reviews in Environmental Control*, 1990, 20:169–229.
40. *Recommendations on the transport of dangerous goods*, 13th revised edition, New York and Geneva, United Nations, 2003, (http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev13/13files_e.html).
41. *Technical instructions for the safe transport of dangerous goods by air*, 2003–2004 Edition. Montreal, International Civil Aviation Organization, 2002.
42. Economic Commission for Europe Inland Transport Committee. *Restructured ADR applicable as from 1 January 2003*. New York and Geneva, United Nations, 2002, (<http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2003/ContentsE.html>).
43. *Infectious substances shipping guidelines*. Montreal, International Air Transport Association, 2003, (<http://www.iata.org/ads/issg.htm>).
44. *Transport of Infectious Substances*. Geneva, World Health Organization, 2004, (http://www.who.int/csr/resources/publications/WHO_CDS_CSR_LYO_2004_9/en/).
45. Berg P et al. Asilomar conference on recombinant DNA molecules. *Science*, 1975, 188:991–994.

46. European Council. Council Directive 98/81/EC of 26 October 1998 amending Directive 90/219/EEC on the contained use of genetically modified microorganisms. *Official Journal*, 1998, L330:13–31.
47. O'Malley BW Jr et al. Limitations of adenovirus-mediated interleukin-2 gene therapy for oral cancer. *Laryngoscope*, 1999, 109:389–395.
48. World Health Organization. Maintenance and distribution of transgenic mice susceptible to human viruses: memorandum from a WHO meeting. *Bulletin of the World Health Organization*, 1993, 71:497–502.
49. Furr AK. *CRC handbook of laboratory safety*, 5th ed. Boca Raton, FL, CRC Press, 2000.
50. Lenga RE. *The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safety Data*, 2nd ed. Milwaukee, WI, Aldrich Chemical Company, 1988.
51. Lewis RJ. *Sax's dangerous properties of industrial materials*, 10th ed. Toronto, John Wiley and Sons, 1999.

ANEXO 1

Primeros auxilios

Los primeros auxilios consisten en la aplicación experta de principios aceptados de tratamiento médico en el momento y el lugar en que se produce un accidente. Es el método aprobado para tratar a la víctima de un accidente hasta que se la pueda poner en manos de un médico para el tratamiento definitivo de la lesión.

El equipo mínimo de primeros auxilios consta de un botiquín, ropa protectora y equipo de seguridad para la persona que presta los primeros auxilios, y equipo para la irrigación ocular.

El botiquín de primeros auxilios

El maletín propiamente dicho debe estar hecho de un material que mantenga el contenido sin polvo ni humedad. Debe guardarse en un lugar bien visible y ser fácilmente reconocible. Por convenio internacional, el botiquín de primeros auxilios se identifica mediante una cruz blanca sobre fondo verde.

El botiquín de primeros auxilios debe contener lo siguiente:

1. Hoja de instrucciones con orientaciones generales
2. Apósitos estériles adhesivos, empaquetados individualmente y de distintos tamaños
3. Parches oculares estériles con cintas
4. Vendas triangulares
5. Compresas estériles para heridas
6. Imperdibles
7. Una selección de apósitos estériles no medicados
8. Un manual de primeros auxilios, por ejemplo publicado por la Cruz Roja Internacional.

El equipo de protección de la persona que presta los primeros auxilios incluye lo siguiente:

1. Una gasa para la boca para realizar la respiración boca a boca.
2. Guantes y otras protecciones de barrera contra la exposición a la sangre.¹
3. Un estuche de limpieza para los derrames de sangre (véase el capítulo 14 del manual).

También debe disponerse de material para la irrigación ocular; el personal estará debidamente adiestrado en su utilización.

¹ Garner JS, Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Guideline for isolation precautions in hospitals. *American Journal of Infection Control*, 1996, 24:24–52, (<http://www.cdc.gov/ncidod/hip/isolat/isolat.htm>).

Inmunización del personal

Los riesgos que entraña trabajar con ciertos agentes deben explicarse de forma completa a cada investigador. Antes de comenzar a utilizar posibles vacunas o agentes terapéuticos (por ejemplo, antibióticos) en caso de exposición, deberá evaluarse su disponibilidad local, si están aprobados y su utilidad. Algunos trabajadores pueden haber adquirido inmunidad en una vacunación o infección anteriores.

Si una vacuna o un toxoide particular están aprobados y disponibles localmente, deben ofrecerse después de evaluar el riesgo de una posible exposición y de proceder a una evaluación clínica de la persona afectada.

También deben existir instalaciones para la gestión de casos clínicos particulares después de una infección accidental.

ANEXO 3

Centros colaboradores de la OMS en materia de bioseguridad

Puede obtenerse información sobre la disponibilidad de cursos de formación y material didáctico y auxiliar escribiendo a cualquiera de los siguientes centros:

- Programa de Bioseguridad. Departamento de Enfermedades Transmisibles (Vigilancia y Respuesta), Organización Mundial de la Salud. 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27 (Suiza) (<http://www.who.int/csr/>).
- Centro Colaborador de la OMS sobre Seguridad Biológica. Instituto Sueco de Lucha contra las Enfermedades Infecciosas, Nobels Väg 18, S-171 82 Solna (Suecia). (<http://www.smittskyddsinstitutet.se/English/english.htm>).
- Centro Colaborador de la OMS sobre Tecnología de Bioseguridad y Servicios Consultivos, Oficina de Seguridad en el Laboratorio. Health Canada. 100 Colonnade Road, Loc.: 6201A, Ottawa, Ontario K1A 0K9 (Canadá) (<http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgsp/ols-bsl>).
- Centro Colaborador de la OMS sobre Capacitación y Programas de Bioseguridad Aplicada. Oficina de Salud y Seguridad, Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. 1600 Clifton Road, Mailstop F05, Atlanta, GA 30333 (Estados Unidos de América) (<http://www.cdc.gov/>).
- Centro Colaborador de la OMS sobre Programas de Bioseguridad Aplicada. Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional, Oficina de Servicios de Investigación, Institutos Nacionales de la Salud. 13/3K04 13 South Drive MSC 5760, Bethesda, MD 20892-5760 (Estados Unidos de América) (<http://www.nih.gov/>).
- Centro Colaborador de la OMS sobre Bioseguridad. Laboratorio de Referencia de Victoria para las Enfermedades Infecciosas. 10 Wreckyn St., Nth Melbourne, Victoria 3051 (Australia). Dirección postal: Locked Bag 815, PO Carlton Sth, Victoria 3053 (Australia) (<http://www.vidrl.org.au/>).

Seguridad del material

Ciertos elementos del material de laboratorio pueden entrañar riesgos microbiológicos durante su utilización. Otros elementos están específicamente diseñados para evitar o reducir los riesgos biológicos (véase el capítulo 11 del manual).

Material que puede ser peligroso

En el cuadro A4-1 se enumeran el material y las operaciones que pueden crear riesgos y se sugieren formas de eliminar o reducir esos riesgos.

Además de los riesgos microbiológicos, también es necesario prever y prevenir los riesgos de seguridad asociados al equipo propiamente dicho. En el cuadro A4-2 se enumeran algunas causas de accidentes.

Cuadro A4-1. Material y operaciones que pueden entrañar riesgos

ELEMENTO DEL EQUIPO	RIESGO	CÓMO ELIMINAR O REDUCIR EL RIESGO
Agujas hipodérmicas	Inoculación accidental, aerosol o derrame	• No tapar de nuevo ni sujetar las agujas. • Utilizar agujas con ajuste de bayoneta para evitar que la aguja se separe de la jeringuilla o utilizar un tipo de jeringuilla desechable en la que la aguja forme parte integrante de la unidad de la jeringuilla. • Utilizar técnicas correctas de laboratorio; por ejemplo: — llenar con cuidado la jeringuilla para reducir al mínimo la formación de burbujas y espuma en el material que se vaya a inyectar — evitar el uso de jeringuillas para mezclar líquidos infecciosos; si se utilizan, asegurarse de que sólo entra la punta de la aguja en el líquido y de no emplear excesiva fuerza — en los recipientes con tapón de caucho, envolver aguja y tapón con un algodón empapado en un desinfectante apropiado antes de retirar la aguja — expulsar el exceso de líquido y las burbujas de aire de la jeringuilla sujetándola en vertical en una torunda de algodón empapada en desinfectante o en un frasquito lleno de algodón.

ANEXO 4. SEGURIDAD DEL MATERIAL

ELEMENTO DEL EQUIPO	RIESGO	CÓMO ELIMINAR O REDUCIR EL RIESGO
		• Utilizar una CSB para todas las operaciones con material infeccioso. • Sujetar a los animales mientras se los inocula. Utilizar agujas romas o cánulas para inoculaciones intranasales u orales. Utilizar una CSB. • Esterilizar el material en la autoclave después de usarlo y eliminarlo correctamente. Si se usan jeringuillas desechables con aguja incorporada, no separar las agujas antes del tratamiento en autoclave.
Centrifugadoras	Aerosoles, salpicaduras y rotura de tubos	• Utilizar cestillos de cierre hermético (de seguridad) o rotores herméticos. Abrir los cestillos o rotores una vez que se hayan depositado los aerosoles (30 minutos) o en una CSB.
Ultracentrifugadoras	Aerosoles, salpicaduras y rotura de tubos	• Instalar un filtro HEPA entre la centrifugadora y la bomba de vacío. • Llevar un registro de las horas de funcionamiento de cada rotor y aplicar un programa de mantenimiento preventivo para reducir el riesgo de fallo mecánico. • Cargar y descargar los cestillos o rotores en una CSB.
Frascos anaeróbicos	Explosión, de material dispersión infeccioso	• Asegurar la integridad de la cápsula de alambre en torno al catalizador.
Desecadores	Implosión, dispersión de fragmentos de vidrio y material infeccioso	• Colocar en una jaula de alambre fuerte.
Homogeneizadores, trituradores de tejidos	Aerosoles, fugas y rotura de recipientes	• Utilizar y abrir el material en una cámara de seguridad biológica. • Utilizar modelos especiales que evitan las fugas de los cojinetes del rotor y las juntas tóricas, o utilizar el tipo Stomacher. • Antes de abrir la cazoleta del mezclador, esperar 30 minutos a que se deposite la nube de aerosol. Refrigerar para condensar los aerosoles. • Si se utilizan trituradores manuales, sujetar el tubo con un trozo de material absorbente.

ELEMENTO DEL EQUIPO	RIESGO	CÓMO ELIMINAR O REDUCIR EL RIESGO
Desintegradores ultrasónicos, limpiadores ultrasónicos	Aerosoles, lesiones auditivas, dermatitis	• Trabajar y abrir el material en una CSB o unidad cerrada. • Asegurar el aislamiento para proteger contra los sonidos subarmónicos. • Usar guantes para proteger la piel de los efectos químicos de los detergentes.
Dispositivos para remover y agitar cultivos	Aerosoles, salpicaduras y derrames	• Trabajar en una CSB o en un recipiente de contención primaria diseñado especialmente. • Utilizar frascos de cultivo resistentes con tapón de rosca, orificios de salida protegidos con filtros, en caso necesario, y bien sujetos.
Liofilizadores	Aerosoles y contaminación por contacto directo	• Utilizar juntas tóricas para sellar perfectamente el aparato. • Utilizar filtros de aire para proteger el circuito de vacío. • Utilizar un método satisfactorio de descontaminación; por ejemplo, con sustancias químicas. • Disponer un colector de humedad totalmente metálico y un condensador de vapor. • Inspeccionar cuidadosamente todos los recipientes de vacío de vidrio para ver si están rayados. Utilizar sólo cristalería concebida especialmente para trabajar en condiciones de vacío.
Baños de agua	Proliferación de microorganismos. La azida sódica forma compuestos explosivos con algunos metales.	• Garantizar una limpieza y una desinfección periódicas. • No utilizar azida sódica para prevenir la proliferación de organismos.

HEPA: filtración de partículas aéreas de gran eficiencia (del inglés High-Efficiency Particulate Air). CSB: cámara de seguridad biológica.

Cuadro A4-2. **Causas comunes de accidentes relacionados con el material**

ACCIDENTE	CAUSA DEL ACCIDENTE	FORMAS DE REDUCIR O ELIMINAR EL RIESGO
Fallos de diseño o de construcción		
Incendios eléctricos en incubadoras	Ausencia de termostato para el sobrecalentamiento	• Cumplir las normas nacionales.
Choque eléctrico	Ausencia de toma de tierra apropiada	
Uso indebido		
Accidente de centrifugadora	Fallos en el equilibrado de los cestillos en los rotores	• Capacitar y supervisar al personal.
Explosión de la incubadora anaeróbica	Uso de un gas inapropiado	• Capacitar y supervisar al personal.
Adaptación incorrecta		
Explosión en frasco de vacío doméstico	Transporte de nitrógeno líquido en condiciones incorrectas	• Usar equipo especialmente diseñado.
Explosión en refrigerador de tipo doméstico	Sustancia peligrosa no almacenada en recipiente a prueba de chispas o explosiones; por ejemplo, dietiléter con tapón de rosca no hermético	• Almacenar disolventes y extractos con punto de inflamación bajo sólo en refrigeradores o armarios a prueba de chispas/ explosiones.
Falta de mantenimiento apropiado		
Fuego en fotómetro de llama	Ensamblaje incorrecto de piezas durante el mantenimiento	• Capacitar y supervisar al personal.

ANEXO 5

Sustancias químicas: peligros y precauciones

En el presente anexo se exponen información y datos básicos sobre seguridad y precauciones apropiadas para ciertas sustancias químicas que normalmente se encuentran en los laboratorios de atención sanitaria y de investigación. La lista no es exhaustiva y la ausencia de determinada sustancia no significa que no sea peligrosa. Todas las sustancias químicas del laboratorio deben tratarse con precaución y de modo que la exposición se reduzca al mínimo.

Cuadro A5-1. Sustancias químicas: peligros y precauciones

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Acetaldehído CH ₃ CHO	Líquido incoloro o gas de olor acre, afrutado Punto de fusión: -121 °C. Punto de ebullición: 21 °C.	Irritación leve de los ojos y las vías respiratorias. Efectos en el sistema nervioso central, las vías respiratorias y los riñones. Posible carcinógeno.	Muy inflamable; las mezclas de vapor/aire son explosivas. Temperatura de inflamación: -39 °C. Intervalo de inflamabilidad: 4-57%.	Prohibidos: llamas desnudas, chispas, fumar, contacto con superficies calientes. Almacenar en recipientes cerrados herméticamente y alejados de oxidantes Almacenar sólo si está estabilizado. Trabajar en campana extractora de vapores o lugar bien ventilado. Usar guantes de goma, gafas de máscara y protección respiratoria.	Puede formar peróxidos explosivos en contacto con el aire. Puede polimerizarse bajo la influencia de ácidos y materiales alcalinos en presencia de oligoelementos metálicos. Agente muy reductor, reacciona violentamente con oxidantes, diversas sustancias orgánicas, halógenos, ácido sulfúrico y aminas.	

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Acético, ácido $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$	Líquido incoloro de olor acre. Punto de fusión: 17 °C. Punto de ebullición: 118 °C. Miscible con el agua.	Cáustico; provoca quemaduras graves; vapores irritantes. Los efectos pueden ser retardados.	Inflamable. Temperatura de inflamación: 40 °C. Intervalo de inflamabilidad: 5,4–16%.	No respirar los vapores. En caso de contacto con los ojos, aclarar de inmediato con agua y acudir al médico. Usar guantes de nitrilo y protección ocular.	Reacción violenta o explosión con oxidantes.	
Acético, anhídrido $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$	Líquido incoloro de fuerte olor acre, parecido al vinagre. Punto de fusión: –73 °C. Punto de ebullición: 139 °C.	Fuerte irritación de los ojos y las vías respiratorias superiores; acción cáustica. Los efectos pueden ser retardados.	Inflamable. Desprende gases o vapores irritantes o tóxicos en incendios. Temperatura de inflamación: 49 °C. Intervalo explosivo: 2,7–10,3%.	Prohibidos: llamas desnudas, chispas, fumar. Evitar contacto con la piel y los ojos.	Reacciona violentamente con agua hirviendo, vapor de agua, oxidantes fuertes, alcoholes, aminas, bases fuertes y muchos otros compuestos. Ataca a muchos metales en presencia de agua.	

Acetileno $\text{HC}\equiv\text{CH}$	Gas incoloro con ligero olor a éter o ajo. Se transporta bajo presión, disuelto en acetona. Punto de fusión: $-81\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sublima a $-84\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Asfixiante simple. Asfixiante simple. contacto.	Muy inflamable. Intervalo de inflamabilidad: 2,5–100%.	Para proteger la piel, usar guantes aislantes contra el frío y gafas de máscara o visera. Prohibidos: llamas desnudas, chispas, fumar. Trabajar con ventilación local por extracción y equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones.	Fuerte agente reductor. Reacciona violentamente con oxidantes y con el flúor o el cloro bajo la influencia de la luz. Reacciona con el cobre, la plata y el mercurio o sus sales, formando compuestos sensibles al impacto.	
Acetona CH_3COCH_3	Líquido volátil incoloro de olor dulce. Punto de fusión: $-95\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Miscible con el agua.	Ligera irritación ocular, nasal y faríngea. La inhalación puede provocar mareos, narcosis y coma.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo explosivo: 2,2–12,8%.	Mantener el recipiente en zona bien ventilada y alejado de fuentes de ignición. No respirar los vapores. Utilizar protección respiratoria y ocular.	Reacciona violentamente con oxidantes (como los ácidos crómico y nítrico) y cloroformo en presencia de bases. Incompatible con mezclas concentradas de ácidos sulfúrico y nítrico.	Dotar de tomade tierra los grandes recipientes y cubas paraprevenir la electricidad estática.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Acetonitrilo CH_3CN	Líquido incoloro de olor fuerte. Punto de fusión: $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $82\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Irritación ocular, cutánea y respiratoria. La exposición puede provocar convulsiones, pérdida de conocimiento y envenenamiento por cianuro.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo explosivo: $3,0\text{--}16\%$.	Prohibidos: llamas desnudas, chispas, fumar, contacto con oxidantes. Utilizar sólo en zonas sin fuentes de ignición. Almacenar en recipientes cerrados herméticamente en zonas separadas de los oxidantes. Trabajar con ventilación por extracción de aire. por extracción de aire. ojos y mucosas. Usar protección respiratoria y guantes de goma.	Reacciona con bases y ácidos acuosos, produciendo vapores tóxicos. Reacciona con oxidantes fuertes. Ataca algunas formas de plástico, goma y revestimientos. Se descompone al arder, produciendo ácido cianhídrico y óxidos de nitrógeno.	
Acroleína $\text{CH}_2=\text{CHCHO}$	Líquido incoloro o amarillo de olor penetrante y desagradable. Punto de fusión: $-87\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $53\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Lagrimo. Irritación respiratoria grave; edema pulmonar con altos niveles de exposición. Los efectos pueden ser retardados.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo explosivo: $2,8\text{--}31\%$.	Evitar el contacto con la piel y los ojos. Trabajar bajo campana extractora de vapores o con buena ventilación.	Oxidantes, ácidos, álcalis, amoníaco, aminas. Polimeriza rápidamente, a menos que se inhiba, en general con hidroquinona. Con el tiempo puede formar peróxidos sensibles al impacto.	

Agua oxigenada H_2O_2 Peróxido de hidrógeno	Líquido incoloro. Punto de fusión: $-39\text{ }^{\circ}C$ (70%). Punto de ebullición: $125\text{ }^{\circ}C$ (70%). (70%). agua. Se suministra en solución acuosa a distintas concentraciones.	Cáustico a altas concentraciones (60%) y a baja concentración (6%) si el contacto con la piel es prolongado. Las soluciones diluidas son irritantes para los ojos, piel.	Agente oxidante; en contacto con material combustible puede producir fuego.	En caso de contacto con la piel, lavar inmediatamente con agua abundante. Usar guantes de nitrilo y protección ocular si la protección ocular si la 20%.	Reacciona vigorosamente con diversos reactivos químicos, entre ellos los oxidantes y las bases. Ataca a la mayoría de los metales o sus sales, líquidos inflamables y otros materiales combustibles (papel, tejidos), anilina y nitrometano.	Puede descomponerse produciendo oxígeno, con lo que aumenta la presión del recipiente. Almacenar en lugar oscuro y fresco. No utilizar recipientes o instrumentos metálicos (latón cobre, hierro).
---	--	--	---	--	--	--

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Amoniaco, soluciones de	Líquido incoloro de olor acre. Para el gas: Punto de fusión: $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para la solución al 25%: Punto de fusión: $-58\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Miscible con el agua.	Cáustico para los ojos, las vías respiratorias y la piel por ingestión. Edema pulmonar con altos niveles de exposición a los gases o vapores.	Como gas, intervalo de inflamabilidad: 15–28%.	Mantener los recipientes cerrados herméticamente. En caso de contacto con los ojos, enjuagar de inmediato y acudir al médico. Trabajar bajo campana extractora de vapores. Usar guantes de goma o de plástico y gafas de máscara especiales para sustancias químicas.	Reacciona violentamente con metales pesados como el mercurio y sus sales para formar productos explosivos.	
Anilina $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	Líquido oleoso, incoloro a marrón, con fuerte olor a aminas. Punto de fusión: $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $185\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Cianosis por metahemoglobinemia. Irritante para los ojos y la piel. Puede ser absorbida por la piel. La exposición repetida o prolongada puede provocar sensibilización.	Combustible. Temperatura de inflamación: $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo explosivo: 1,2–11%.	Almacenar en recipientes cerrados herméticamente en zonas separadas de los oxidantes. Evitar el contacto con la piel y los ojos. Trabajar con ventilación local por extracción o protección respiratoria, guantes, ropa protectora y visera.	Oxidantes fuertes y ácidos fuertes.	

Auramina 4,4'-carbonoimidolbis (N,N- dimetilbencenamina)	Escamas o polvo de color amarillo. Punto de fusión: 136 °C. Insoluble en agua.	Nocivo por ingestión, inhalación y contacto con la piel. Puede provocar irritación ocular o cutánea. Posible carcinógeno.	Evitar el contacto con la piel y la inhalación del polvo. Usar guantes de goma o plástico y gafas de máscara resistentes a sustancias químicas. Trabajar en campana extractora de vapores o llevar respirador contra polvo.	Agentes oxidantes fuertes.
Benceno C₆H₆	Líquido volátil incoloro de fuerte olor característico. Punto de fusión: 6 °C. Punto de ebullición: 80 °C.	La inhalación de vapores tiene efectos en el sistema nervioso central: vértigos y cefaleas; a altas concentraciones, pérdida de conocimiento y muerte. Riesgo de anemia aplásica, leucemia y lesiones hepáticas en caso de exposición crónica. Puede absorberse por la piel.	Mantener el recipiente en zona bien ventilada y alejada de fuentes de ignición. Trabajar bajo campana extractora de vapores o campana con ventilación suficiente. Usar protección ocular y guantes de nitrilo o PVC. Prevenir la formación de cargas eléctricas mediante toma de tierra.	Puede reaccionar violentamente con oxidantes como el ácido crómico, el permanganato potásico y el oxígeno líquido.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Bencidina 1,1'-bifenil-4,4'-diamina	Polvo de color amarillo claro. Punto de fusión: 128 °C. Punto de ebullición: 400 °C. Ligeramente soluble en agua, pero muy soluble en ácidos y disolventes orgánicos.	Puede ser absorbido por la piel. Puede provocar cáncer de vejiga. Evitar toda exposición.	Combustible, desprende vapores tóxicos (gases) en incendios.	Evitar toda exposición. Usar protección ocular y cutánea. Trabajar con campana extractora de vapores.	Uso prohibido o controlado legalmente en muchos países.	
Bromo Br ₂	Líquido humeante de color marrón rojizo oscuro y olor acre. Punto de fusión: -7,2 °C. Punto de ebullición: 58,8 °C.	Cáustico. Los vapores son cáusticos para los ojos y las vías respiratorias. La inhalación puede provocar edema pulmonar y efectos en el sistema nervioso central. El contacto con los ojos puede causar visión borrosa, enrojecimiento ocular, dolor y quemaduras graves.	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden provocar fuego o explosiones. El calentamiento causa un aumento de la presión, con riesgo de quemaduras.	Utilizar en sistema cerrado y con ventilación. Usar guantes y ropa protectora, gafas de máscara, visera o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Fuerte oxidante, reacciona de modo violento con materiales combustibles y reductores, y también con amoníaco acuoso, oxidantes, metales, compuestos orgánicos y fósforo.	Ataca algunas formas de plástico, goma y revestimientos.

Carbono, dióxido de (sólido; «hielo seco») CO_2	Sólido blanco translúcido a $-79\text{ }^\circ\text{C}$; sublima a temperatura ambiente.	Riesgo de asfixia en zonas cerradas o mal ventiladas. El contacto con «hielo seco» sólido produce lesiones por congelación.	Usar guantes aislantes protectores. Almacenar en recipiente abierto sólo en zonas o locales ventilados.	Metales alcalinos, bases fuertes.
Carbono, tetracloruro de CCl_4	Líquido incoloro de olor característico a éter. Punto de fusión: $-23\text{ }^\circ\text{C}$. Punto de ebullición: $76,5\text{ }^\circ\text{C}$.	Puede ser absorbido por la piel y provocar dermatitis tras la exposición prolongada. Irrita los ojos. Puede causar lesiones hepáticas y trastornos del sistema nervioso central, produciendo cefaleas, náuseas, ligera ictericia, pérdida de apetito y narcosis. Carcinógeno animal.	No es combustible. Desprende vapores o gases irritantes o tóxicos en incendios. Evitar todo contacto. Trabajar con ventilación, extracción local de aire o protección respiratoria. Usar guantes de nitrilo y prendas protectoras, visera o protección ocular con protección respiratoria.	Al entrar en contacto con superficies calientes o llamas se descompone formando humos y gases tóxicos y cáusticos (ácido clorhídrico, cloro, fosgeno). Reacciona con algunos metales: aluminio, magnesio, zinc.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Cianógeno, bromuro de BrCN	Cristales incoloros o blancos, de olor acre. Punto de fusión: 52 °C. Punto de ebullición: 61 °C.	Efectos oculares, cutáneos y respiratorios graves. La inhalación de vapores puede provocar edema pulmonar, convulsiones, pérdida de conocimiento, insuficiencia respiratoria y muerte.	No es combustible pero forma un gas inflamable al calentarlo. En los incendios desprende vapores o gases irritantes o tóxicos.	Trabajar en sistema cerrado con ventilación. Usar guantes y ropa de protección, gafas de máscara, visera o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Se descompone al calentarlo y al entrar en contacto con ácidos, produciendo cianuro de hidrógeno, sumamente tóxico e inflamable, y bromuro de hidrógeno, de acción cáustica. Reacciona con oxidantes fuertes. Reacciona lentamente con el agua y la humedad para producir bromuro para de hidrógeno y cianuro de hidrógeno. Ataca a muchos metales en presencia de agua.	

Citocalasina (A–J)	Polvo blanco. Punto de fusión: variable.	Tóxico por ingestión, inhalación o absorción cutánea. Puede producir malformaciones congénitas.	Evitar contacto con los ojos, la piel y la ropa. Usar gafas de máscara resistentes a las sustancias químicas y guantes de goma o de plástico.	Agentes oxidantes fuertes.
Clorhídrico, ácido (10–37%) HCl Cloruro de hidrógeno	Líquido incoloro humeante de olor acre. Punto de ebullición: –121 °C. Miscible con el agua.	Cáustico para los ojos, las vías respiratorias y la piel. La inhalación repetida de vapores puede causar bronquitis crónica.	No respirar los vapores; utilizar protección respiratoria. En caso de contacto con los ojos, aclarar de inmediato con agua y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, lavar de inmediato con agua abundante. Trabajar bajo campana extractora de vapores. Usar guantes de goma o plástico y protección ocular (gafas de patilla o de máscara).	Reacciona violentamente con las bases (sólidos y soluciones concentradas), y de forma explosiva con el permanganato potásico sólido. Produce gases tóxicos o explosivos en contacto con muchos metales. Libera vapores muy tóxicos en los incendios.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Cloro Cl ₂	Gas amarillo verdoso de olor acre. Punto de fusión: -101 °C. Punto de ebullición: -34 °C.	Corrosivo para los ojos, la piel y las vías respiratorias. La inhalación del gas puede causar neumonitis y edema pulmonar, produciendo síndrome de disfunción reactiva de las vías respiratorias. La evaporación rápida del líquido puede provocar congelación. Las exposiciones elevadas pueden ser mortales. Los efectos pueden ser retardados. Está indicada observación médica.	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias.	Trabajar en sistema cerrado y con ventilación. Usar guantes aislantes contra el frío, ropa protectora, gafas de máscara o protección ocular combinada con protección respiratoria.	La solución acuosa es un ácido fuerte que reacciona violentamente con bases y muchos compuestos orgánicos, acetileno, butadieno, benceno y otras fracciones del petróleo, amoníaco, hidrógeno, carburo sódico, trementina y metales muy desmenuzados, provocando llamas y riesgo de explosión.	Ataca a muchos metales en presencia de agua. Ataca al plástico, la goma y los revestimientos.

Cloro, dióxido de ClO_2	Gas de color amarillo a rojo o líquido marrón rojizo. Punto de fusión: $-59\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Irritación grave ocular, cutánea y respiratoria grave. La inhalación del gas puede causar edema pulmonar. Los efectos pueden ser retardados. Está indicada observación médica.	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias. Puede explotar al calentarlo, al exponerlo a la luz solar, al recibir impactos o chispas.	Trabajar en sistema cerrado con ventilación. Utilizar guantes y ropa protectora, gafas de máscara o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Fuerte oxidante que reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores. Reacciona violentamente con el fósforo, el hidróxido potásico, el azufre, el amoníaco, el metano, la fosfina y el ácido sulfhídrico.
-------------------------------------	--	--	---	--	---

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Cloroformo CHCl_3	Líquido volátil incoloro de olor característico. Punto de fusión: $-63\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $61\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ligeramente soluble en agua.	Nocivo por inhalación, ingestión y contacto con la piel. Irritante para la piel. Puede afectar al hígado, al riñón y al sistema nervioso central, produciendo cefaleas, náuseas, ligera ictericia, pérdida de apetito y narcosis. La exposición prolongada o crónica produce cáncer en animales. Presunto carcinógeno para el ser humano.		Usar ropa protectora, guantes de nitrilo y protección ocular. Trabajar bajo campana extractora de vapores.	Bases fuertes; algunos metales como el aluminio, el magnesio y el polvo de zinc. Oxidantes fuertes.	Cuando se calienta hasta la descomposición produce gas de fosgeno. Ataca al plástico y la goma.
Cobre Cu	Sólido rojizo, brillante, maleable, inodoro. Polvo rojo que se vuelve verde si se expone a aire húmedo. Punto de fusión: $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $2567\text{ }^{\circ}\text{C}$.	La inhalación de vapores de cobre puede producir fiebre.	Combustible.	Trabajar con extracción local de aire o protección respiratoria, guantes y gafas protectoras de máscara.	Se forman compuestos sensibles al impacto con compuestos acetilénicos, óxidos de etileno, azidas y agua oxigenada. Reacciona con oxidantes fuertes como cloratos, bromatos y yodatos, con peligro de explosión.	

Crómico, ácido CrO_3 Óxido de cromo VI	Escamas o polvo de color rojo oscuro, inodoro. Se utiliza a menudo en soluciones acuosas. Punto de fusión: 197 °C.	Irrita los ojos, la piel y el aparato respiratorio. El contacto repetido o prolongado con la piel puede producir dermatitis, úlceras por cromo y sensibilización cutánea. La inhalación puede provocar reacciones de tipo asmático. Puede provocar perforación del tabique nasal. Carcinógeno para el ser humano.	Se descompone por encima de los 250 °C en óxido crómico y oxígeno, aumentando el peligro de incendio. Muchas reacciones son peligrosas.	Impedir el contacto con la piel y los ojos. Evitar la inhalación de polvo fino y vapores. Trabajar con ventilación, extracción local de aire o protección respiratoria.	En solución acuosa es un ácido fuerte que reacciona con bases y tiene acción cáustica. Fuerte oxidante, reacciona con materiales combustibles, orgánicos u otros fácilmente oxidables (papel, madera, azufre, aluminio, plásticos ...). Corrosivo para los metales.
---	--	---	---	---	---

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Dietil éter $C_2H_5OC_2H_5$	Líquido incoloro, muy volátil de olor dulce característico. Punto de fusión: $-116\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $34\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ligeramente soluble en agua.	Irritación ocular y respiratoria. Puede afectar al sistema nervioso central, provocando mareos y pérdida de conocimiento. La inhalación repetida puede provocar adicción.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo de inflamabilidad: $1,7\text{--}48\%$.	Mantener el recipiente en zona bien ventilada, alejado de fuentes de ignición. Recipientes con toma de tierra para prevenir las descargas de electricidad estática. Trabajar bajo campana extractora de vapores y usar guantes de nitrilo para impedir la pérdida de grasa de la piel.	La exposición al aire y a la luz puede provocar la formación de peróxidos. Puede reaccionar violentamente con oxidantes y halógenos.	
Dimetilamina $(CH_3)_2NH$	Gas licuado incoloro, volátil, de olor acre. Punto de fusión: $-93\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Miscible con el agua.	Irritación ocular y respiratoria grave. La inhalación puede provocar edema pulmonar. La evaporación rápida puede provocar lesiones por congelación. La solución es cáustica para los ojos y la piel.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo de inflamabilidad: $2,8\text{--}14\%$ Solución muy inflamable. Temperatura de inflamación: $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Mantener alejada de las fuentes de ignición. En caso de contacto con los ojos, aclarar inmediatamente y acudir al médico. Trabajar bajo campana extractora de vapores. Usar guantes de nitrilo y gafas de máscara resistentes a sustancias químicas.	Puede reaccionar con oxidantes y mercurio.	

2,4-dinitrofenilhidracina $C_6H_3(NO_2)_2-NHNH_2$ 1-hidracino-2,4-dinitrobenceno	Polvo cristalino de color rojo anaranjado. Punto de fusión: 200 °C. Ligeramente soluble en agua.	Irritante para la piel y los ojos. Nocivo por ingestión, inhalación y contacto con la piel.	Mantener húmeda para reducir el riesgo de explosión. Usar respirador contra el polvo, guantes de goma o plástico y gafas de máscara contra agentes químicos.	Puede reaccionar fuertemente con oxidantes y reductores.
Dioxano $C_4H_8O_2$ Dióxido de dietileno	Líquido incoloro de olor característico. Punto de fusión: 12 °C. Punto de ebullición: 101 °C.	Irritante ocular y respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central, provocando cefaleas, náuseas, tos, dolor de garganta, dolor abdominal, mareos, somnolencia, vómitos y pérdida de conocimiento. Puede ser absorbido por la piel. Lesiones hepáticas y renales. Probablemente carcinógeno para el ser humano.	Muy inflamable; puede incendiarse a distancia. El flujo, la agitación, etc. pueden generar cargas electrostáticas. Trabajar con ventilación o extracción local de aire. Prohibidos: llamas desnudas, chispas, fumar, contacto con oxidantes fuertes o superficies calientes, aire comprimido para rellenar, descargar o manipular y herramientas que produzcan chispas. Usar guantes y ropa de protección, visera o protección ocular junto con protección respiratoria.	Puede formar peróxidos explosivos. Reacciona enérgicamente con oxidantes fuertes y ácidos fuertes concentrados. Reacciona de forma explosiva con algunos catalizadores. Ataca a muchos plásticos.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Etanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Líquido volátil incoloro con un ligero olor característico. Punto de fusión: $-117\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Miscible con el agua.	Nocivo en caso de ingestión. Irritante ocular. Puede afectar al sistema nervioso central.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ Intervalo de inflamabilidad: $3\text{--}19\%$.	Mantener el recipiente bien cerrado y alejado de las fuentes de ignición.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes.	
Etanolamina $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ 2-aminoetanol	Líquido viscoso, no volátil e incoloro con olor a amoníaco. Punto de fusión: $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $171\text{ }^{\circ}\text{C}$ Miscible con el agua.	Cáustico para los ojos, el aparato respiratorio y la piel. Puede provocar sensibilización cutánea.	Temperatura de inflamación: $85\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Usar guantes de goma o plástico y protección ocular.	Reacciona con oxidantes fuertes.	

Fenol C_6H_5OH	Cristales incoloros o de color rosa pálido de olor característico. Punto de fusión: 41 °C. Punto de ebullición: 182 °C. Soluble en agua.	La sustancia y sus vapores son cáusticos para los ojos, la piel y las vías respiratorias y provocan quemaduras graves. Es absorbido por la piel. Trastornos del sistema nervioso central y coma. Lesiones hepáticas y renales. Síntomas: dolor abdominal, vómitos, diarrea, irritación de la piel, dolor ocular. El contacto prolongado con soluciones diluidas puede causar dermatitis.	Temperatura de inflamación: 80 °C. Intervalo de inflamabilidad: 1,7–6%.	No respirar los vapores; utilizar protección respiratoria. Evitar el contacto con los ojos y la piel. Trabajar bajo campana extractora de vapores. Usar guantes de nitrilo y protección ocular. En caso de contacto con los ojos, lavar de inmediato con agua y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, quitar la ropa contaminada y extender sobre la zona afectada glicerol, polietilenglicol 300 o una mezcla de polietilenglicol (70%) y alcohol desnaturalizado (30%), y después enjuagar con agua.	Reacciona con oxidantes, con peligro de incendio y explosión.
---------------------	--	--	---	---	---

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Formaldehído, solución de (37–41% de formaldehído con 11–14% de metanol) HCHO	Líquido incoloro de olor acre. Punto de ebullición: 96 °C. Miscible con el agua.	Grave irritación de los ojos y la piel, irritación de las vías respiratorias. La exposición prolongada a los vapores puede provocar síntomas de tipo asmático, conjuntivitis, laringitis, bronquitis o bronconeumonía. Puede causar sensibilización por contacto con la piel. Riesgo de efectos irreversibles en la salud. Posiblemente carcinogénico.	Temperatura de inflamación: 50 °C.	Usar prendas protectoras, como delantal de plástico, guantes de goma o plástico y gafas de máscara resistentes a las sustancias químicas. Trabajar bajo campana extractora de vapores o en zona bien ventilada.	Puede reaccionar vigorosamente con oxidantes. Con el nitrometano genera productos explosivos y con el ácido clorhídrico produce el potente carcinógeno bis(clorometil) éter.	Las soluciones concentradas se enturbian si se almacenan a menos de 21 °C; deben mantenerse a 21–25 °C. Las soluciones diluidas (1–5%) y de concentración intermedia (5–25%) presentan muchos de los peligros de la forma concentrada.

Fosfórico, ácido H_3PO_4	Líquido viscoso incoloro o cristales blancos higroscópicos. Punto de fusión: 42 °C. Se descompone por debajo del punto de ebullición a 213 °C. Soluble en agua.	Cáustico; provoca quemaduras en la piel y los ojos.	Ataca a muchos metales produciendo hidrógeno. Desprende vapores tóxicos en los incendios.	En caso de contacto con los ojos, aclarar con agua y buscar atención médica. Usar guantes de nitrilo y protección ocular.
Fósforo, pentóxido de P_2O_5	Cristales o polvo blancos, higroscópicos. Punto de fusión: 340 °C. Punto de sublimación: 360 °C.	Cáustico para los ojos, la piel y las vías respiratorias. Produce dolor de garganta, tos, sensación de ardor, dificultad respiratoria; quemaduras, dolor y ampollas en la piel y quemaduras en los ojos. La inhalación puede provocar edema pulmonar. La ingestión puede causar cólicos, sensación de ardor, diarrea, dolor de garganta y vómitos.	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden provocar incendios o explosiones. Desprende vapores o gases irritantes o tóxicos durante los incendios.	Trabajar con extracción local de aire. Usar guantes y ropa de protección, visera o protección ocular junto con protección respiratoria. La solución acuosa es un ácido fuerte, corrosivo, que reacciona violentamente con las bases. Reacciona violentamente con el ácido perclórico, con peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con el agua formando ácido fosfórico. Ataca a muchos metales en presencia de agua.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Glutaraldehído $\text{OHC}(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$	Solución incolora o amarillo claro de olor acre. Punto de fusión: $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $189\text{ }^{\circ}\text{C}$. Miscible con el agua.	Produce irritación grave de los ojos y las vías respiratorias altas. La exposición prolongada por inhalación o contacto con la piel puede provocar sensibilización.		Trabajar bajo campana extractora de vapores o en zona bien ventilada. Usar guantes de goma o plástico y protección ocular.	Puede reaccionar fuertemente con los oxidantes.	A menudo se suministra en solución acuosa en distintas concentraciones con estabilizante añadido para aumentar la estabilidad.

Mercurio Hg	Líquido pesado, plateado. Punto de fusión: -39 °C. Punto de ebullición: 357 °C. Insoluble en agua.	Puede ser absorbido por la piel. La exposición repetida puede afectar a los riñones y al sistema nervioso central, y causar vómitos, diarrea, cefaleas, náuseas, gingivitis y dientes sueltos.	No es combustible. Desprende vapores irritantes o tóxicos en incendios.	Mantener el recipiente bien cerrado. Trabajar bajo campana extractora de vapores o en zona bien ventilada. Evitar los derrames. Prácticas higiénicas estrictas. Usar guantes de nitrilo.	Acetileno, ácido fulmínico. Reacciona con el amoníaco, las azidas y el óxido de etileno para formar productos explosivos. Reacciona violentamente con el bromo. Forma amalgamas con muchos metales.	Almacenar los recipientes y utilizar sobre bandejas para contener los posibles derrames. Aspirar las gotitas derramadas en un pequeño frasco de respirador con un tubo capilar conectado a una bomba. Tratar las zonas del derrame con polvo de zinc para formar una amalgama.
----------------	---	---	--	---	---	---

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Metanol CH_3OH	Líquido volátil incoloro de olor característico. Punto de fusión: $-98\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Miscible con el agua.	Los efectos en el sistema nervioso central producen pérdida de conocimiento. Irritación de las mucosas. La exposición crónica puede dañar la retina y el nervio óptico. El contacto prolongado con la piel puede provocar dermatitis. Puede ser absorbido por la piel.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Intervalo de inflamabilidad: $7-37\%$.	Mantener el recipiente bien cerrado y lejos de fuentes de ignición. Evitar respirar los vapores y el contacto con la piel. Trabajar bajo campana extractora de vapores o zona bien ventilada. Usar guantes de goma o plástico y protección ocular.	Puede reaccionar violentamente con oxidantes. Las reacciones con el magnesio o el bromo pueden ser violentas; con los oxidantes fuertes o el cloroformo con sodio pueden ser explosivas.	
Naftilamina (alfa y beta) $\text{C}_{10}\text{H}_9\text{N}$ N-fenil- α -naftilamina y N-fenil- β -naftilamina	Cristales blancos a rosados de olor característico. Alfa – punto de fusión: $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $301\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beta – punto de fusión: $113\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $306\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poco soluble en agua pero el clorhidrato es soluble en agua.	Ambas formas son muy tóxicas por inhalación, ingestión y contacto con la piel. Carcinógeno en el ser humano (cáncer de vejiga). Mutágeno y teratógeno experimental. Absorbido por la piel.	Combustible.	Evitar toda exposición. Llevar ropa protectora adecuada. Trabajar bajo campana extractora de vapores o con ventilación por extracción de aire.	Uso prohibido o legalmente controlado en muchos países.	

Ninhidrina $C_9H_6O_4$	Sólido amarillo pálido. Se descompone antes de fundirse a 241 °C. Se suministra en botes de aerosol, en solución al 0,5% en butanol. Soluble en agua.	Nociva por ingestión e inhalación. Irritante para los ojos, las vías respiratorias y la piel. La exposición repetida puede causar sensibilización cutánea.	Inflamable, sólido combustible. Temperatura de inflamación: 39 °C	Evitar la inhalación del aerosol o vapor y el contacto con los ojos. Usar guantes de goma o plástico y gafas de máscara resistentes a las sustancias químicas.	El contacto con la piel produce una mancha violeta persistente.
Nítrico, ácido (50–70%) HNO_3	Líquido humeante incoloro o amarillo claro. Punto de fusión: -42 °C. Punto de ebullición: 83–121 °C. Miscible con el agua.	Cáustico; provoca quemaduras graves en los ojos y la piel. La inhalación de los vapores puede causar edema pulmonar.	Oxidante; en contacto con material combustible puede provocar fuego. Desprende vapores tóxicos en los incendios.	No respirar los vapores; utilizar protección respiratoria. En caso de contacto con los ojos, enjuagar de inmediato y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, aclarar inmediatamente; retirar la ropa contaminada. Usar guantes de PVC, delantal de plástico y gafas de máscara resistentes a las sustancias químicas. Utilizar bajo campana extractora de vapores.	El ácido nítrico concentrado interviene en más reacciones peligrosas que ningún otro reactivo químico.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Nitrobenceno $C_6H_5NO_2$	Líquido oleoso de color amarillo pálido y olor característico. Punto de fusión: 6 °C. Punto de ebullición: 211 °C.	Metahemoglobinemia con cianosis y lesiones hepáticas. Síntomas: labios o uñas azulados, piel azulada, mareos, náuseas, debilidad, pérdida de conocimiento. Absorbido por la piel.	Combustible. Temperatura de inflamación: 88 °C. Riesgo de fuego y explosión.	Trabajar con ventilación, extracción local de aire o protección respiratoria. Usar guantes protectores, ropa protectora, gafas de máscara.	Su combustión genera vapores cáusticos, entre ellos óxidos de nitrógeno. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y agentes reductores, con peligro de incendio y explosión. Ataca a muchos plásticos. Forma sustancias o mezclas explosivas (térmicamente inestables) con muchos compuestos orgánicos e inorgánicos.	

Osmio, tetróxido de OsO_4	Cristales de color amarillo claro de olor acre. Punto de fusión: 40 °C. Punto de ebullición: 130 °C. Sublima por debajo del punto de ebullición y es soluble en agua.	Muy tóxico por inhalación, ingestión y contacto con la piel. Provoca quemaduras graves e irritación. Las soluciones, los vapores y el sólido son cáusticos para la piel y las vías respiratorias. La inhalación puede provocar edema pulmonar.	Poderoso oxidante. No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias.	Mantener el recipiente bien cerrado y en lugar bien ventilado. Utilizar el sólido y las soluciones bajo campana extractora de vapores. Usar gafas de máscara resistentes a las sustancias químicas y guantes de protección. Preparar las disoluciones añadiendo la ampolla sin abrir al volumen necesario de agua; cerrar y agitar para romper la ampolla.
Oxálico, ácido $\text{HO}_2\text{CCO}_2\text{H}$	Cristales incoloros; soluble en agua. Punto de fusión: 190 °C. Se descompone.	Nocivo en contacto con la piel o por ingestión. El polvo irrita las vías respiratorias y los ojos. Las soluciones irritan los ojos y puede provocar quemaduras en la piel.	Combustible. Desprende humos o gases irritantes o tóxicos en los incendios.	Evitar el contacto con la piel y los ojos. Usar protección ocular y guantes. Agentes oxidantes. También la plata, el mercurio y sus compuestos.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Oxígeno O ₂	Gas comprimido incoloro. Punto de fusión: -218,4 °C. Punto de ebullición: -183 °C.	A concentraciones muy altas irrita las vías respiratorias.	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias. El calentamiento hace aumentar la presión, con riesgo de explosión.	Prohibidos: llamas desnudas, chispas, fumar, contacto con sustancias inflamables.	Potente oxidante que reacciona con materiales combustibles y reductores, con peligro de incendio y explosión. Reacciona con aceites, grasas, hidrógeno y líquidos, sólidos y gases inflamables.	
Perclórico, ácido HClO ₄	Líquido incoloro. Miscible con el agua.	Cáustico; provoca quemaduras graves en los ojos y en la piel, así como en caso de ingestión. Los vapores son corrosivos para los ojos, la piel y las vías respiratorias. La inhalación de vapores puede provocar edema pulmonar.	Potente oxidante. No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias.	Evitar respirar los vapores y otros tipos de exposición. Usar ropa protectora, incluidos guantes de nitrilo, protección ocular y facial. Utilizar las soluciones calientes bajo campana extractora de vapores.	Materiales combustibles y agentes reductores: anhídrido acético, bismuto y sus aleaciones, alcohol, metales, papel, madera y otros materiales orgánicos.	Poderoso agente oxidante. Puede formar productos explosivos en contacto con muchos materiales orgánicos e inorgánicos: suelos de madera contaminados, mesas de madera, etc. Puede explotar por percusión.

Pírico, ácido $C_6H_2(NO_2)_3OH$ 2,4,6-trinitrofenol	Cristales amarillos humedecidos con agua o disueltos en alcohol. Punto de fusión: 122 °C. Ligeramente soluble en agua.	Tóxico por ingestión, inhalación o contacto con la piel. La ingestión puede producir cefaleas y náuseas. Irritante ocular.	Explosivo en estado seco.	Mantener humedecido con agua en todo momento o utilizar sólo en solución alcohólica.	Forma sales con muchos metales que son más explosivas que el ácido por sí solo. En contacto con el hormigón puede formar picrato cálcico, un explosivo sensible a la fricción. Puede reaccionar vigorosamente con agentes reductores.	Manchas amarillas en la piel.
Piridina C_5H_5N	Líquido incoloro de olor característico. Punto de fusión: 42 °C. Punto de ebullición: 115 °C.	Afecta al sistema nervioso central, causando mareos, cefaleas, náuseas, dificultad para respirar y pérdida de conocimiento. Puede ser absorbida por la piel provocando rubor y sensación de ardor. La ingestión produce dolor abdominal, diarrea, vómitos y debilidad. La exposición repetida tiene efectos hepáticos y renales.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: 20 °C. Intervalo explosivo: 1,8–12,4%. Desprende vapores o gases irritantes o tóxicos en los incendios. Los vapores y las mezclas son explosivos.	Trabajar con ventilación, extracción local de aire o protección respiratoria. Usar guantes y ropa protectora.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes y ácidos fuertes.	

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Plata Ag	Metal blanco que se oscurece con la exposición al ozono, al ácido sulfhídrico o al azufre. Punto de fusión: 962°C. Punto de ebullición: 2212 °C.	La inhalación de grandes cantidades de vapores de plata metálica puede provocar lesiones pulmonares y edema pulmonar. La exposición prolongada o repetida (argirismo) puede provocar coloración gris azulada en los ojos, nariz, garganta y piel.	No es combustible, salvo en forma de polvo.	Trabajar con extracción local de aire. Usar guantes y gafas de seguridad o protección ocular combinada con protección respiratoria en presencia de polvo o vapores.	Incompatible con acetileno, compuestos de amonio, ácido oxálico y ácido tartárico.	
Plata, nitrato de AgNO ₃	Cristales blancos. Punto de fusión: 212 °C. Punto de ebullición: 444 °C. Soluble en agua.	Puede provocar irritación grave y quemaduras en los ojos y la piel. Cáustico por ingestión. La exposición prolongada o repetida (argirismo) puede provocar cambios de color en la piel (rojo azulado).	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias.	Evitar la dispersión del polvo. Estrictas medidas de higiene. Usar guantes de goma o plástico y visera o protección ocular combinada con protección respiratoria. En caso de contacto con los ojos, aclarar con agua y acudir al médico.	Las soluciones amoniacaes pueden precipitar nitrato de plata en presencia de una base o de glucosa. Puede formar productos explosivos con etanol y puede provocar polimerización explosiva con acrilonitrilo. Puede provocar ignición o explosión si se mezcla con carbón, magnesio, fósforo o azufre.	

Potasio, hidróxido de KOH	Escamas, polvo, gránulos o barritas de color blanco. Punto de fusión: 360 °C. Punto de ebullición: 1320 °C. Muy soluble en agua.	Cáustico para las vías respiratorias, los ojos y la piel. La inhalación de polvo produce edema pulmonar.	En caso de contacto con los ojos, aclarar de inmediato con agua y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, lavar de inmediato y quitar la ropa contaminada. Usar guantes de goma o plástico y protección ocular, incluso para las soluciones diluidas.	Reacciona violentamente con ácidos y con nitrobenzeno y muchos otros detergentes. Produce mucho calor al mezclarlo con agua. Almacenar en recipiente cerrado herméticamente.	Ataca a algunos metales (aluminio, zinc, estaño) en presencia de humedad.
Potasio, permanganato de KMnO ₄	Cristales morados. Punto de fusión: 240 °C (se descompone). Fácilmente soluble en agua.	Cáustico por ingestión o inhalación de polvo. Sumamente irritante para los ojos y las vías respiratorias. La inhalación de polvo puede provocar edema pulmonar.	Potente oxidante; puede inflamar materiales combustibles. Usar prendas protectoras, protección ocular y respirador contra partículas si se produce polvo.	Reacciona de forma violenta o explosiva si se mezcla con una amplia variedad de compuestos inorgánicos y orgánicos o metales en polvo.	

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Potasio, telurito de K_2TeO_3	Cristales delicuescentes de color blanco. Muy soluble en agua.	Tóxico por ingestión e inhalación de polvo Irritante cutáneo y ocular.		Usar ropa protectora.		
Propan-2-ol $(CH_3)_2CHOH$ Isopropanol	Líquido incoloro de olor alcohólico. Punto de fusión: $-89\text{ }^{\circ}C$. Punto de ebullición: $82\text{ }^{\circ}C$. Miscible con el agua.	Irritante para los ojos y las vías respiratorias. Puede tener efectos en el sistema nervioso central, provocando cefaleas, mareos, náuseas, vómitos y coma.	Muy inflamable. Temperatura de inflamación: $112\text{ }^{\circ}C$. Intervalo de inflamabilidad: $2,3\text{--}12,7\%$.	Mantener el recipiente bien cerrado y alejado de fuentes de ignición. Trabajar bajo campana extractora de vapores. Usar guantes de nitrilo y protección ocular.	En caso de exposición prolongada al aire y a la luz puede reaccionar vigorosamente con oxidantes para formar peróxidos inestables.	El propan-2-ol al $70\text{--}85\%$ en agua, utilizado como desinfectante en pulverizaciones, sigue entrañando peligro de incendio y no debe utilizarse cerca de fuentes de ignición.

Selenio Se	Sólido inodoro en diversas formas: sólido amorfo de color marrón rojizo oscuro a negro azulado; cristales rojos transparentes o cristales gris metálico a negro. Punto de fusión: 170–217 °C. Punto de ebullición: 685 °C.	Irritación cutánea y ocular. La inhalación de polvo puede provocar edema pulmonar. La exposición repetida puede provocar pérdida de las uñas y efectos gastrointestinales.	Combustible. Desprende vapores o gases irritantes o tóxicos en los incendios.	Evitar la dispersión del polvo. Medidas estrictas de higiene. Trabajar con extracción local de aire. Usar guantes protectores, ropa protectora y gafas de seguridad.	Reacciona violentamente con oxidantes y ácidos fuertes. Reacciona con el agua a 50 °C, formando hidrógeno inflamable y ácidos de selenio. Al calentarlo suavemente reacciona con incandescencia con el fósforo y metales como el níquel, zinc, sodio, potasio y platino.
Sodio, azida de N ₃ Na	Sólido cristalino incoloro. Punto de fusión: 300 °C. Soluble en agua.	Muy tóxica por ingestión, inhalación y contacto con la piel; puede provocar quemaduras. El polvo y las soluciones irritan los ojos y la piel. Puede ser absorbida por la piel.	Se descompone de forma explosiva cuando se calienta por encima de su punto de fusión. Desprende vapores tóxicos al calentarse; no usar agua para extinguir incendios.	En caso de contacto con la piel, lavar de inmediato. No inhalar el polvo. Usar guantes de goma o plástico y protección ocular.	Reacciones explosivas con bromo, disulfuro de carbono o cloruro de cromo. El sólido reacciona con metales pesados como cobre, plomo y mercurio para formar sales metálicas, que son explosivas. En contacto con ácidos produce gases muy tóxicos y explosivos.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Sodio, biselenito de NaHSeO_3	Polvo cristalino blanco o incoloro. Soluble en agua.	Tóxico por ingestión e inhalación de polvo, con posible efecto acumulativo. Teratígeno experimental. El contacto prolongado con la piel puede provocar dermatitis.		Usar ropa protectora.	Oxidantes.	
Sodio, cianuro de NaCN	Polvo cristalino blanco con olor a almendras. Punto de fusión: $563\text{ }^{\circ}\text{C}$. Punto de ebullición: $1496\text{ }^{\circ}\text{C}$. Muy soluble en agua.	Sumamente tóxico por ingestión, inhalación y contacto con la piel. Muy irritante para los ojos. Puede ser absorbido por la piel. La exposición repetida puede afectar al tiroides.	Puede desprender gases tóxicos en incendios.	No inhalar el polvo, utilizar protección respiratoria. Evitar el contacto con los ojos y la piel; en caso de contacto con la piel, lavar inmediatamente con agua y quitar la ropa contaminada. Usar gafas de máscara a prueba de sustancias químicas y guantes de goma o plástico. Guardar en lugar cerrado con llave y ventilado.	Libera cianuro de hidrógeno (CNH) gaseoso, muy tóxico, en contacto con ácidos o con agua que lleve dióxido de carbono disuelto. Puede formar mezclas explosivas con nitritos.	Tratar los derrames de soluciones con lejía en polvo (hipoclorito sódico) y dejar actuar 24 h; barrer los residuos sólidos con cuidado y verter en agua con lejía en polvo; dejar 24 h antes de eliminar. Disponer de antidoto contra el cianuro en el laboratorio.

Sodio, hidróxido de NaOH	Escamas, polvo, gránulos o barritas incoloras. Punto de fusión: 318 °C. Punto de ebullición: 1390 °C. Soluble en agua.	Sustancia sólida y soluciones concentradas. La inhalación del polvo produce lesiones en las vías respiratorias y edema pulmonar. Es cáustico por ingestión. Las soluciones diluidas son irritantes para los ojos o pueden provocar lesiones graves si el contacto es prolongado.	No es combustible. El contacto con humedad o agua puede generar calor suficiente para inflamar sustancias combustibles.	En caso de contacto con los ojos, aclarar de inmediato y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, lavar inmediatamente con agua y quitar la ropa contaminada. Usar guantes de plástico o goma y protección ocular, incluso con las soluciones diluidas.	Produce mucho calor cuando se mezcla con agua. Reacciona vigorosamente con mezclas de cloroformo–metanol y con ácidos fuertes.	Guardar en recipiente cerrado herméticamente en lugar seco.
--------------------------	---	--	---	---	--	---

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Sodio, hipoclorito de (solución con un 10–14% de cloro libre) NaOCl	Solución incolora o de color amarillo pálido con olor a cloro. Miscible con el agua.	Cáustica para los ojos, la piel y las vías respiratorias, así como por ingestión. La inhalación puede provocar edema pulmonar. La exposición repetida puede causar sensibilización cutánea.	Fuerte oxidante. Puede desprender vapores tóxicos en incendios.	En caso de contacto con los ojos, aclarar de inmediato con agua y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, lavar de inmediato. No inhalar los vapores; usar protección respiratoria. Trabajar en zona bien ventilada. Usar guantes de goma o plástico y protección ocular apropiada para sustancias químicas.	Libera gases muy tóxicos en contacto con ácidos. Puede reaccionar vigorosamente con compuestos combustibles y reductores. Puede reaccionar con compuestos de nitrógeno para formar compuestos N-clorados, que son explosivos. Puede reaccionar violentamente con el metanol.	Pierde cloro gradualmente durante el almacenamiento. Las soluciones diluidas utilizadas como desinfectante se deterioran rápidamente. Almacenar alejada de ácidos en una zona oscura, fresca y bien ventilada.

Sulfhídrico, ácido H ₂ S Sulfuro de hidrógeno	Gas incoloro con fuerte olor a huevos podridos. Punto de fusión: -85 °C. Punto de ebullición: -60 °C.	Puede tener efectos en el sistema nervioso central y producir cefaleas, mareos, tos, dolor de garganta, náuseas, dificultad para respirar, pérdida de conocimiento y muerte. La inhalación puede provocar edema pulmonar. En los ojos puede producir enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves.	Muy inflamable. Intervalo de explosión: 4,3-46%.	Trabajar con ventilación o extracción local de aire. Usar gafas de máscara o protección ocular junto con protección respiratoria.	Oxidantes fuertes y ácido nítrico fuerte. Ataca a muchos metales y plásticos. no es fiable para advertir la presencia continua del gas.
Sulfúrico, ácido H ₂ SO ₄	Líquido viscoso incoloro e inodoro. Punto de fusión: 10 °C. Punto de ebullición: 340 °C (se descompone).	La solución concentrada (15%) es cáustica y provoca quemaduras graves. Los aerosoles y vapores son muy cáusticos por inhalación. Las soluciones diluidas son irritantes para los ojos y la piel; produce quemaduras y dermatitis.	Puede desprender vapores tóxicos en incendios. No es combustible. Muchas reacciones pueden provocar fuego o explosiones. La dilución con agua genera calor, y pueden producirse salpicaduras o ebullición. Nunca añadir agua al ácido , sino ácido al agua.	En caso de contacto con los ojos, aclarar inmediatamente y acudir al médico. En caso de contacto con la piel, lavar de inmediato y quitar la ropa contaminada. Usar guantes de nitrilo y protección ocular y facial. Prohibido el contacto con sustancias inflamables.	Potente desecante oxidante; reacciona violentamente con muchas sustancias, como compuestos orgánicos nitrogenados, permanganato potásico, metales alcalinos y percloratos, materiales combustibles, oxidantes, aminas, bases, agua, calor excesivo y la mayoría de los metales.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Talio, acetato de $\text{TiCl}_2\text{H}_3\text{O}_2$	Cristales blancos delicuescentes. Punto de fusión: 110 °C. Muy soluble en agua.	Sumamente tóxico por ingestión, con posibles efectos acumulativos. Afecta a los sistemas nervioso y cardiovascular. Nocivo por contacto con los ojos y la piel.		Mantener el recipiente bien cerrado. Trabajar con campana extractora de vapores o ventilación por extracción de aire. Usar prendas protectoras, respirador contra el polvo, gafas de máscara resistentes a las sustancias químicas, guantes de goma o plástico y protección ocular.		
Tetrahidrofurano $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ Óxido de dietileno Óxido de tetrametileno	Líquido incoloro de olor característico Punto de fusión: -108,5 °C. Punto de ebullición: 66 °C.	Depresor del sistema nervioso central: efecto narcótico. Irritación ocular, cutánea y respiratoria.	Muy inflamable. Puede formar peróxidos explosivos; temperatura de inflamación: -14 °C. El agua no sirve para combatir incendios con tetrahidrofurano, pero puede usarse para refrescar recipientes expuestos al fuego.	Trabajar con ventilación, extracción local de aire o protección respiratoria, guantes protectores y gafas de seguridad.	Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bases fuertes y algunos haluros metálicos, con peligro de incendio y explosión. Ataca a algunas formas de plásticos, gomas y revestimientos. Puede polimerizar en presencia de iniciadores catiónicos. El reflujo con hidróxido de calcio puede provocar explosiones.	

o-Tolidina (C ₆ H ₃ -(3CH ₃)-(4NH ₂)) ₂ 3,3'-dimetil- (1,1'-bifenil)- 4,4'-diamina	Cristales incolores. Punto de fusión: 131 °C. Punto de ebullición: 200 °C. Poco soluble en agua.	Nocivo por contacto con la piel o por ingestión. El polvo irrita las vías respiratorias y los ojos. Probable carcinógeno para el ser humano.	Combustible. Desprende vapores o gases irritantes o tóxicos en incendios.	Evitar el contacto; usar protección ocular y guantes.	Agentes oxidantes.
Tolueno C ₇ H ₈ Metilbenceno	Líquido incolore de olor característico. Punto de fusión: -95 °C. Punto de ebullición: 111 °C. Inmiscible con el agua.	Depresor del sistema nervioso central. Irrita los ojos, las mucosas y la piel. La exposición repetida puede ser tóxica para la reproducción o el desarrollo del ser humano.	Muy inflamable; los vapores pueden provocar incendio instantá- neo. Temperatura de inflamación: 4 °C. Intervalo de inflamabilidad: 1,4-7%. Medios de extinción para un incendio pequeño: usar sustancias quími- cas secas, dióxido de carbono, espuma, niebla de agua o gas inerte (nitrógeno).	Mantener el recipiente bien cerrado y alejado de fuentes de ignición Recipientes con toma de tierra para prevenir descargas de electricidad estática. No inhalar los vapores y usar protección respiratoria. Trabajar bajo campana extractora de vapores o en zona bien ventilada. Usar guantes de nitrilo.	Puede reaccionar con ácidos, álcalis y oxidantes fuertes.

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Tricloroacético, ácido CCl_3COOH	Cristales higroscópicos blancos de olor acre. Punto de fusión: 58 °C. Punto de ebullición: 197,5 °C. Soluble en agua, etanol y diétil éter.	Cáustico; provoca quemaduras graves en los ojos, la piel y las vías respiratorias.	No es combustible. Puede desprender vapores tóxicos en incendios.	Evitar el contacto con los ojos y la piel. Usar guantes de goma o plástico y gafas de máscara o visera a prueba de sustancias químicas en combinación con protección respiratoria. En caso de contacto con los ojos, aclarar de inmediato y acudir al médico.	Reacción violenta con mezclas de cobre/dimetil sulfóxido y en contacto con bases, agentes oxidantes fuertes y metales como el hierro, el zinc o el aluminio.	Almacenar en lugar seco. Las soluciones acuosas concentradas pueden descomponerse violentamente.

Tricloroetileno <chem>CHClCCl2</chem>	Líquido incoloro de olor característico. Punto de fusión: -73 °C. Punto de ebullición: 87 °C.	Irrita los ojos y la piel; la exposición prolongada puede provocar dermatitis y efectos en el sistema nervioso central; pérdida de memoria. Puede afectar al hígado y al riñón. Probable carcinógeno para el ser humano.	Combustible en ciertas condiciones.	Trabajar con ventilación o extracción local de aire. Usar guantes, gafas de seguridad u otra protección ocular combinada con protección respiratoria.	En contacto con superficies calientes o llamas se descompone formando gases tóxicos y corrosivos (fosgeno, ácido clorhídrico). Se descompone por contacto con álcalis fuertes, dando dicloroacetileno. Reacciona violentamente con polvos metálicos como los de aluminio, bario, magnesio y titanio. Se descompone lentamente con la luz en presencia de humedad, formando ácido clorhídrico.
--	---	--	-------------------------------------	---	---

SUSTANCIA QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	PELIGROS PARA LA SALUD	PELIGRO DE INCENDIO	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD	SUSTANCIAS QUÍMICAS INCOMPATIBLES	OTROS PELIGROS
Xileno (mezcla de isómeros) $C_6H_4(CH_3)_2$ Dimetilbenceno	Líquido incoloro de olor fuerte. Punto de fusión: -95 a -13 °C. Punto de ebullición: $136-145$ °C. Insoluble en agua.	Puede afectar al sistema nervioso central, produciendo cefaleas, mareos, fatiga y náuseas. El líquido y los vapores irritan los ojos, piel, mucosas y vías respiratorias. Nocivo en caso de ingestión. El contacto prolongado puede producir lipólisis cutánea. Trastornos neurológicos inespecíficos. La exposición puede agravar las lesiones auditivas provocadas por la exposición al ruido. Las pruebas en animales indican que es tóxico para la reproducción o el desarrollo humanos.	Líquido inflamable. Temperatura de inflamación: $27-32$ °C.	Evitar el contacto con los ojos. Usar guantes de nitrilo y protección ocular. Mantener el envase bien cerrado y alejado de fuentes de ignición.	Puede contener etilbenceno como impureza. El etilbenceno es un posible carcinógeno para el ser humano.	

Yodo I ₂	Escamas cristalinas negrizales de olor característico. Punto de fusión: 114 °C. Punto de ebullición: 184 °C. Prácticamente insoluble en agua.	Irritante ocular, cutáneo y respiratorio. La exposición repetida puede provocar sensibilización cutánea. Puede tener efectos en el tiroides.	No es combustible pero favorece la combustión de otras sustancias. Muchas reacciones pueden producir fuego o explosiones. Desprende vapores o gases irritantes o tóxicos en incendios.	No respirar los vapores y evitar el contacto con los ojos. Usar guantes de nitrilo.	Reacciona violentamente con los metales como el aluminio, el potasio y el sodio, así como con las mezclas de etanol y fósforo, el acetileno y el amoniaco.
------------------------	---	--	--	---	--

Índice alfabético

- abrasiones 86
- abrigos, laboratorio 70
- ácaros 35
- acceso
 - animalarios 31, 32, 33
 - laboratorio 10–11, 22–23, 27
- accidentes 11
 - relacionados con el material 157
 - véase también* primeros auxilios; lesiones; derrames
- acetaldehído 159
- acético, ácido 160
- acético, anhídrido 160
- acetileno 161
- acetona 161
- acetonitrilo 162
- acroleína 162
- ADN recombinante, tecnología 109–113
- aerosoles
 - actividades que generan 55
 - cámaras de seguridad biológica 16, 56
 - riesgos de pipeteo 48–69
 - emisiones potencialmente infecciosas 86
 - equipo de seguridad 66
- agente de puesta en servicio 36–37
- agitadores 69, 79
- agua, abastecimiento 15, 23
- agua, baños de 156
- agujas hipodérmicas 11, 82, 154–155
 - eliminación 19
- agujas hipodérmicas, accidentes causados por 78
- aire evacuado 28
- alarmas 22–65
- alcoholes **95–96**
- alergia, látex 72
- alimentos 11
- almacenamiento
 - de ampollas que contengan material infeccioso 81
 - sustancias químicas 118
 - gases comprimidos y licuados 120, 141
 - locales de 138
 - líquidos inflamables 140–141
 - espacio del laboratorio 12–14
- amoníaco, soluciones de 164
- amónico, bicarbonato 97
- ampollas que contengan materiales infecciosas
 - apertura **80**
 - almacenamiento **81**
- anaeróbica, frascos-incubadora 155, 157
- anilina 164
- animalario – nivel de bioseguridad (ABSL) 30
- animalarios **30–35**
 - nivel de bioseguridad 1 31
 - nivel de bioseguridad 2 31–32
 - nivel de bioseguridad 3 32–33
 - nivel de bioseguridad 4 33–34
 - niveles de contención 30
 - invertebrados 34
- animales
 - eliminación de cadáveres 32
 - no experimentales 11, 31
 - transgénicos y con genes inactivados **110–111**
- antesala, vestíbulo 22, 32–33
- antimicrobiano 89
- antisépticos 89
- artropodos 12
- asas
 - desechables 16, 68, 69
 - microincineradores 68, 69, 70
 - seguridad en la utilización 76, 77

- Asociación de Aviación Civil Internacional (OACI) 102
- Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) 102
- auramina 165
- autoclave 19, **98–99**
- autoclaves 68, **98–99**
- animalarios 32, 33
 - autoclaves de olla a presión calentadas por combustible 99
 - desplazamiento por gravedad 99
 - cargar 99
 - prevacío 99
 - precauciones en el uso 100
 - validación 16
- azidas 118, 191
- 1,1'-bifenil-4,4-diamina 166
- bancos de trabajo de aire limpio 55
- batas 70–71
- beber 11, 14, 32
- bencidina 166
- benzeno 165
- bicarbonato de sodio 109
- biocida 89
- bioprotección **49–51**
- bioseguridad
- gestión 12
 - bioprotección en el laboratorio 49
- botiquín de primeros auxilios 151
- bromo 166
- brotos de enfermedad de etiología desconocida 8
- 4,4'-carbonoimidobis
(N,N-dimetilbencenamina) 165
- cabinas de flujo de aire horizontal y vertical 55
- 1-hidracino-2,4-dinitrobenceno 175
- calcio hipoclorito 91
- calefacción, ventilación y aire acondicionado
- sistema de 23
 - lista de comprobación de la seguridad 138
- calor
- desinfección y esterilización 99–101
- seco 98
 - húmedo 98
- calzado 11, 21, 26, 70
- cámara de extracción total de aire 62
- cámaras aislantes de material flexible y presión negativa **66, 67**
- cámaras de seguridad biológica **55–65, 68**
- conexiones de aire 60–61
 - animalarios 32
 - certificación 64
 - clase I 56–57, 60
 - clase II 56–60
 - tipo A1 58–59
 - tipos A2 b1 y b2 59, 60
 - clase III 60
 - laboratorio 26–29
 - descontaminación 65, **97**
 - aire de evacuación 33
 - localización 23, 62
 - operación y mantenimiento 63
 - contaminación con prion 84
 - uso necesario 16, 22, 23
 - uso seguro **62–65**
 - selección 56, 62
- capacitación 133–134
- trabajadores de animalarios 32–34
 - cámaras de seguridad biológica, uso de 65
 - bioprotección 49
 - trabajadores de laboratorio 17–18
- carbonato sódico (bicarbonato sódico) 119
- carbono tetracloruro 167
- carbono, dióxido de (sólido, hielo seco) 167
- catástrofes naturales 85, 87
- catástrofes naturales 85–88
- centrífugas **78–79**
- rotura de tubos 87
 - accesorios de contención 24
 - uso indebido 157
- centros colaboradores de la OMS en materia de bioseguridad **153**
- certificación 64
- cámaras de seguridad biológica 64
 - laboratorios/instalaciones **39–40**
- cianógeno, bromuro de 168
- cierres herméticos 29

- circuito de vacío 23, 68
- circuitos eléctricos 122
- clase III, laboratorio con CSB 27
 - sistema de ventilación controlada 28
- citocalasina 168
- cloraminas **92–93**
- clorhídrico, ácido 169
- cloro **91–92**, 170
 - compuestos que liberan 91
 - dióxido de **93**, 170
- cloroformo 172
- cloruro de hidrógeno 169
- cobre 172
- cocción 98
- código de prácticas
 - nivel de bioseguridad 1 y 2 **9–12**
 - nivel de bioseguridad 3 **21–23**
 - nivel de bioseguridad 4 **26**
- comer 11, 14, 32, 77–78
- comité de bioseguridad **131**
- nivel de bioseguridad 1 1, 2, 9–20
 - animalarios 31
 - diseño del laboratorio 12–15
 - formulario de encuesta sobre la seguridad en el laboratorio 41–43
 - vigilancia médica y sanitaria 16
 - véase también* laboratorio básico
- Comité de Expertos de las Naciones Unidas en Transporte de Mercancías Peligrosas 102
- compuestos de amonio cuaternario 95
- compuestos fenólicos **94–95**
- congeladores **80**
- contención primaria 27
- contención primaria en el nivel de seguridad 4 27
- contención, niveles de, animalarios 30
- contención, sumideros 29
- contingencia, planes de **85**
- cortes 86
- cosméticos 11
- Creutzfeldt-Jakob, enfermedad 83
- crómico, ácido 173
- cromo VI, óxido de 173
- CSB-cámaras de seguridad biológica 9
 - 2,4 dinitrofenilhidracina 175
 - 3,3'-dimetil-(1,1'-bifenil) 4,4'diamina 197
 - delantales 70–71
 - derrames
 - en cámaras de seguridad biológica 64
 - sangre 82
 - sustancias químicas 118–119
 - materiales infecciosos 11, 86, 103–105
 - descontaminación
 - cámaras de seguridad biológica 64, **97**
 - sangre, líquidos corporales 83
 - definiciones 89
 - efluentes 11, 28
 - mano **98**
 - espacios y superficies **96**
 - materiales contaminados por priones 84
 - materiales de desecho 19, 23
 - véase también* limpieza; desinfección
 - desecadores 155
 - desechos **18–20**
 - animalarios 32–34
 - nivel de bioseguridad 4 29
 - descontaminación 19, 23
 - eliminación 19–20, 23, 101
 - instalaciones para invertebrados 34
 - contaminación por priones 84
 - radioactivos 125
 - desechos radiactivos 125
 - desinfección 89–161
 - cámaras de seguridad biológica 64
 - químicas 90–96
 - limpieza previa 89–90
 - definiciones 89–90
 - calor 98–101
 - derrames 104–105
 - manipulación de desechos 18
 - véase también* descontaminación, esterilización
 - desinfectantes 89, **90–97**
 - desintegrantes ultrasónicos 69, 79, 75
 - dietil éter 174
 - dietileno, dióxido de 175
 - dietileno, óxido de 196
 - dimetilamina 174
 - dimetilbenceno 200
 - 2,4 dinitrofenilhidracina 175
 - dioxano 175

- diseño, laboratorio
 - nivel de bioseguridad 1 y 2 12–15, 16
 - nivel de bioseguridad 3 21–23, 24
 - nivel de bioseguridad 4 26–29
 - requisitos para puesta en servicio y 36–38
- dispersión de material infeccioso, evitar la 76–77
- dispositivos para remover y agitar cultivos 156
- duchas 27, 33
- efluentes, contaminados 11, 28–29
- emergencias **85–88**
 - nivel de bioseguridad 4 26–29
 - planes de contingencia 85
 - procedimientos de laboratorio 87–88
- encefalopatía espongiforme transmisible 83
- encuesta, seguridad en el laboratorio 39, 40
 - formularios 41–46
- envases con tapón de rosca 16, 68
- Escherichia coli* k12 110
- esporicida 90
- esterilización 29, 89–101
 - limpieza previa 89–90
 - definición 89
 - calor **98–101**
 - materiales contaminados con priones 84
 - véase también* descontaminación, desinfección
- etanol (2-amino-etanol) 176
- etanol (alcohol etílico) 95–96, 176
- etanolamina 176
- éteres 118
- excreciones, precauciones normalizadas **81–82**
- extensiones y frotis para el examen microscópico 82
- extensiones y frotis para el examen microscópico 82
- extintores de incendio 122
- fenol 177
- filtros
 - animalarios 33
 - cámaras de seguridad biológica 55, 56–60
 - nivel de bioseguridad 3 23–25
 - nivel de bioseguridad 4 27–29
 - contaminación por priones 83–84
- flujo de aire *véase* aire evacuado
 - animalarios 32–22
 - cámaras de seguridad biológica 55–56–59–60
 - laboratorio de contención 21–22
 - laboratorio de contención máxima 26–27
- flujo direccional 22
 - alarmas 22, 65
 - animalarios 31, 32, 33, 34
 - cámaras de seguridad biológica 57, 62
 - nivel de bioseguridad 3 22–23
 - nivel de bioseguridad 4 27, 29
- formol 93, 97
- formaldehído **93**, 97, 178
- fosfórico, ácido 179
- fósforo, pentóxido de 179
- fotómetro de llamas 157
- frascos con tapón de rosca 16, 68
- frascos de vacío doméstico 157
- friegas de alcohol para las manos 95–96
- fumar 11, 32
- fumigación 97
- funcionario de bioseguridad 18, 129–130
- gafas de máscara 70–71
- gafas de seguridad 70
- garrapatas 35
- gas(es)
 - comprimidos y licuados 120, **141**
 - suministros para laboratorio 15
- gases, transferencia 109, 110
- germicidas químicos 82, 83, **90–96**
- germicidas químicos **90–96**
- glutaraldehído 94, 180
- grupos de riesgos microbiológicos
 - laboratorios básicos 9
 - niveles de bioseguridad 2–4
 - clasificación 1–2
- guantes 11, 65, 70, **71–72**

- 1-hidracino-2,4-dinitrobenzono 175
- homogeneizadores 69, 79–80, 155
- iluminación, alumbrado 133, 138
- inactivados, animales 110–111
- incendios 20, 122
 - causas 122, 157
 - prevención y protección 139
- incineración 20, **101**
- incineradores 33, 92
- ingeniería genética 109
- ingestión de material infeccioso 86
- inmunización del personal **152**
- inoculación, accidental 78–79
- insectos voladores 34
- inspección, laboratorio 39–40
- instalaciones de comunicación 26
- instalaciones de enfriamiento, mosquiteras 34
- instalaciones de saneamiento 138
- instalaciones para auditoría 40
- instalaciones, laboratorio
 - nivel de bioseguridad 1 y 2 12–15
 - nivel de bioseguridad 3 23
 - nivel de bioseguridad 4 26–29
 - designaciones de bioseguridad 1
- interruptores por fallo de la toma de tierra 122
- invertebrados 34
- isopropanol (alcohol isopropílico) 95–190
- jaulas
 - animal 32, 33
 - insectos voladores 35
- jaulas aisladas 33
- jeringuillas 11, 19
- laboratorio
 - bioseguridad **49–50**
 - certificación **39–40**
 - puesta en servicio **36–38**
 - instalaciones *véase* instalaciones de laboratorio
 - locales, lista de la comprobación de la seguridad **137**
 - formularios para muestras sobre la seguridad 41–46
 - servicios, lista de comprobación de la seguridad **139**
 - técnicas 75–84
 - zonas de trabajo 12
 - director del laboratorio 12, 129
 - supervisor del laboratorio 12, 129
 - papel de capacitación 18, 133
 - véase también* laboratorio básico, laboratorio de contención, laboratorio de contención máxima
- laboratorio básico
 - niveles de bioseguridad 1 y 2 1, **9–20**
 - seguridad química, eléctrica, radiológica y material de seguridad 20
 - código de prácticas 9
 - diseño e instalaciones 12
 - material 15–16
 - vigilancia médica y sanitaria 16
 - formularios de seguridad en el laboratorio 41,45
 - capacitación 17–18
 - manipulación de desechos 18–20
- laboratorio de contención
 - (nivel de bioseguridad 3) 1, 3, **21–24**
 - código de prácticas 21–22
 - diseño e instalaciones 22–23, 24
 - material de 23
 - vigilancia médica y sanitaria 24–25
 - formulario para encuesta de seguridad 46
- laboratorio de contención máxima
 - (nivel de bioseguridad 4) 1, **26–29**
 - diseño e instalaciones 26–29
- lechos de los animales 32, 33
- lejía (hipoclorito sódico) 91–92, 194
- lentes de contacto 11
- lesiones
 - animalarios, personal de 32
 - procedimientos de emergencia 85
 - prevención 78–79
- limpiadores ultrasónicos 156
- limpieza
 - cámaras de seguridad biológica 64
 - doméstica **132**
 - materiales de laboratorio **90**
 - refrigeradores y congeladores 80

- limpieza previa 89
- lioofilizado, ampollas que contengan material
 - infeccioso para abrirlas **80**
- lioofilizadores 156
- líquidos contaminantes efluentes 11, 28
- líquidos corporales, precauciones
 - normalizadas 81–83
- líquidos inflamables, almacenamiento de **140**
- lista, comprobación de la seguridad **137–144**
- luces ultravioleta 63
- lugares para descansar 14
- llamas desnudas 63

- manos 70–71
- manos, descontaminación de las 98
- manos, friegas de alcohol para las 95, 98
- manos, lavado de 11, 72, **90**
 - animalarios, personal 32
 - instalaciones 14, 22, 32–33
- materiales
 - laboratorio básico **15–16**
 - laboratorios de contención 24
 - emergencia 88
 - riesgos **154–157**
 - lista 142–144
- materiales contaminantes
 - véase* materiales infecciosos
- materiales infecciosos
 - autoclave y reutilización 19
 - evitar la dispersión **76**
 - contacto con la piel y los ojos 77
 - eliminación 20, 23
 - ingestión 86
 - lista de la comprobación de la seguridad **143**
 - derrames 11, 86, **103–105**
- mecheros de Bunsen 76–77
- mercurio 181
- metanol 182
- metilbenceno (tolueno) 197
- mezcladores 69–70
- microbiciida 90
- microincineradoras 68, **69–70**
- microorganismos infecciosos, *véase* grupo de riesgos microbiológicos
- microscopio, extensiones y frotis para el examen 82
- mobiliario de laboratorio 14
- mosquiteras a prueba de insectos 34
- muestras 75
 - recogida de 81
 - recipientes de 75, 81, 104
 - etiquetado 81
 - con información limitada 8
 - apertura de los envases 75
 - apertura de tubos de muestras y muestreo del contenido 82
 - recepción 75
 - precauciones normalizadas 81
 - transporte 75, 81
 - sistema de envasado triple 103
- muestras etiquetadas 81
- mujeres en edad fecunda 17, 142

- naftilamina 182
- N-fenil- α -naftilamina 182
- N-fenil- β -naftilamina 182
- ninhidrina 183
- niños 10
- nítrico, ácido 183
- nitrobenceno 184
- nivel de bioseguridad 2 1, 2, 9–20
 - animalarios 31–32
 - diseño del laboratorio 12–15
 - formulario de encuesta
 - sobre la seguridad en el laboratorio 43–44
 - vigilancia médica y sanitaria 16–17
 - véase también* laboratorio básico
- nivel de bioseguridad 3 1, 3, 21–24
 - animalarios 3 32–33
 - diseño del laboratorio 22–23
 - formulario de encuesta sobre la seguridad en el laboratorio 46
 - véase también* laboratorio de contención
- nivel de bioseguridad 4 1, 3, 26–29
 - animalarios 33–35
 - diseño del laboratorio 26–29
 - véase también* laboratorio de contención máxima
- niveles de bioseguridad 1
 - animalarios (NBSA) 30

- requisitos de las instalaciones 4
- grupos de riesgo microbiológico y 1–3
- objetos cortantes y punzantes 19
 - animalarios 32–33
 - evitar heridas 71–72, 77–78, 82
 - eliminación de recipientes 19, 48
- OGM *véase* organismos genéticamente modificados
- organismos genéticamente modificados
 - otras consideraciones 112
 - evaluación de riesgos 112–113
 - tipos 110–112
- Organización Mundial de la Salud (OMS)
 - Centros colaboradores de la OMS en materia de bioseguridad **153**
 - Programa de bioseguridad 26
- osmio, tetróxido de 185
- oxálico, ácido 185
- oxígeno 186
- pantallas contra salpicaduras 67
- paraformaldehído 93, 97
- paredes 13, 22
- peligros eléctricos 20, **122**, 157
 - lista de seguridad **142**
- perácidos **96**
- perclórico, ácido 118, 186
- períodos de garantía,
 - laboratorios/instalaciones 36
- peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) **96**, 97, 163
- personal
 - gestión de la bioseguridad 12
 - temas de bioseguridad 49–51
 - instalaciones,
 - lista de la comprobación de la seguridad **138**
 - inmunización **152**
 - objetos personales/ropa 14
 - responsabilidad por la propia seguridad 129
 - apoyo **132**
- personal de apoyo 132
- personal de mantenimiento 132
- personal de mantenimiento del edificio 132
- pícrico, ácido/picratos 118, 187
- piel,
 - contacto con la 77
 - heridas punzantes, cortes y abrasiones 86
 - véase también* lesiones
- pipetas 16, 76
- pipeteo **76**
 - dispositivo de 16, 68, 76
 - boca 11, 68
- piridina 187
- plasmido pUC 18, 110
- plata 188
- plata, nitrato de 188
- poliovirus, ratones susceptibles a 111
- potasio, hidróxido de 189
- potasio, permanganato de 189
- potasio, telurito de 190
- precauciones de seguridad 15, 139–140
- precauciones normalizadas 81–82
- precauciones universales 81–82
- prevención de reflujo 15, 23
- primates, no humanos 31
- primeros auxilios 15, **151**
- priones 83–84
- procedimiento de limpieza, derrames **103–105**
- propan-2- ol (propanol) 95, 190
- protección auditiva 122–123
- protección de la cara (viseras) 11, 70–71
- protección de los ojos 11, 70–71, 77
- protección del producto 56
- puerta en servicio de
 - laboratorio/instalaciones 36–38
- puertas
 - animalarios 30
 - laboratorio 15, 22, 27
- radiación, símbolo de peligro de 125
- radiaciones ionizantes 123–126
 - efectos perjudiciales 123
 - principios de protección 123–124
 - lista de comprobación de la seguridad 142, 143
 - zona de mesas de trabajo 124
- radiaciones, zona de 124
- radionúclidos

- cámaras de seguridad biológica 61–62
- sistemas seguros de trabajo 124–125
- sustitución 124
- recipientes
 - rotura de 89
 - desechos contaminados 19–20
 - herméticos 67
 - eliminación de objetos cortantes y punzantes 19, 68
 - muestras 75, 82, 103
- refrigeradores 80, 81, 157
- regla de las dos personas 26, 33
- reglamento de transporte internacional **102–103**
- respiradores (equipo de protección respiratoria) 22, 70–71
- riesgo microbiológico, evaluación de 2, 7–8
 - animalarios 30–32
 - organismos genéticamente modificados 111–113
- roedores, programa de control de 12, 32
- ropa y equipo de protección personal **70–72**
 - animalario 32, 33
 - laboratorio básico 11–12
 - cámara de seguridad biológica 65
 - lista **141**
 - laboratorio de contención 21–22
 - laboratorio de contención máxima 26, 27
 - priones 84
- ropas y equipo de protección personal 70–72
- ruido **122**
- sangre, precauciones normalizadas **81–83**
- selenio 191
- servicios de emergencia 88
- servicios de mecánicos y personal **132**
- signo de peligro biológico 10, 11, 31
- sistema de envasado triple **103, 104**
- sistemas de embalaje **103**
- sistemas de expresión biológica 110
- sistemas de ventilación
 - cámaras de seguridad biológica 55, 56, 57, 58, 59
 - trajes protectores 27
- sodio, azida de 191
- sodio, biselenito de 192
- sodio, cianuro de 192
- sodio, dicloroisocianurato de 91, 92
- sodio, hidróxido de 193
- sodio, hipoclorito de (cloro) 84, **91–93**, 194
- suero, separación de 78
- sulfúrico, ácido 195
- sulfuro de hidrógeno 195
- suministro de electricidad 15, 29
- superficies de trabajo
 - animalarios 32
 - laboratorio 12, 13
- sustancias químicas (peligrosas) 20, **117–120**
 - cámaras de seguridad biológica 62
 - explosivas 118, 157
 - incompatible, reglas generales 118, 119
 - vías de exposición 117
- lista de comprobación de la seguridad **137–138**
 - específicos **158–201**
 - derrames 118–120
 - almacenamiento 117
 - efectos tóxicos 117–118
- sustancias químicas explosivas 118, 157
- 0-tolidina 197
- 2,4,6-trinitrofenol (ácido pícrico) 118, 187
- talio, acetato de 196
- tarjeta de contacto médico 24–25
- técnicas microbiológicas apropiadas 9–12, **75–84**
- techos 13, 22
- tejidos
 - que contienen priones 83–84
 - precauciones normalizadas 81
- tetrahidrofurano 196
- tetrametileno, óxido 196
- tolueno 197
- traje protector 27
 - sistema de ventilación controlada 28
- transgénicas, plantas 109, 111
- transgénicos, animales 110–111
- transporte 12, **102–105**

- desechos contaminados 19–20, 23
- reglamentación internacional 94–97
- muestras 75, 80–82
- sistema de envasado triple 103, 104
- trituradores de tejidos 80, 155
- tricloroacético, ácido 198
- tricloroetileno 199
- triclosan 94
- tubos
 - rotura en las centrifugadoras 87–88
 - frascos y tubos con tapón de rosca 16
- ultracentrifugadoras 155
- validación de equipo 16
- vectores 110
- vectores de expresión 110
- ventanas
 - animalarios 29, 33
 - instalaciones para invertebrados 34
 - laboratorio 12, 15, 22
- ventilación, sistemas de
 - animalarios 30, 31, 32
- laboratorio básico 15
- lista **138**
- laboratorio de contención 22
- laboratorio de contención máxima 26, 27, 28
- vectores víricos 110
- vidrios 82
 - quebrados, manipulación 86
 - precauciones 78, 82
- vigilancia médica y sanitaria
 - laboratorio básico **16–17**
 - lista **129**
 - laboratorio de contención **24–25**
- xileno 200
- yodo **96**, 201
- yodóforos **96**
- zonas de trabajo de laboratorio 12