

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER OFICIAL UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

CURSO 2020/2021

**EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A AGENTES ANESTÉSICOS INHALATORIOS EN EL
ÁMBITO SANITARIO. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Autora: Elena Simón Polo
Directora: Maria José Prieto Castelló

Tabla de contenido

1. RESUMEN.....	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
4. OBJETIVOS	6
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
6. FUNDAMENTOS	8
6.1. Historia	8
6.2. Clasificación y propiedades físico-químicas.	10
6.3. Definición y conceptos generales.....	13
6.4. Fuentes de exposición y usos	14
7. EFECTOS SOBRE LA SALUD.....	14
7.1. Exposiciones agudas	15
7.1.1. Irritación y sensibilización	15
7.2. Exposiciones crónicas.....	17
7.2.1. Daño genético.....	17
7.2.2. Riesgo de aborto espontáneo ante exposición a gases anestésicos	19
7.2.3. Alteraciones dermatológicas	20
7.2.4. Alteraciones de la función hepática y renal.....	20
7.2.5. Déficits en la función cognitiva.....	21
7.2.6. Alteraciones hematológicas.....	21
8. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN	22
8.1. Higiene teórica, funciones y definición.....	22
8.2. Criterios de Valoración del Riesgo Higiénico	22
8.3. Valores límite Ambientales. Control Ambiental	24
8.4. Valores límite Biológicos. Control Biológico	30
9. ANESTÉSICOS INHALATORIOS E IMPACTO AMBIENTAL	34
10. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS. ETIQUETADO DE SEGURIDAD	37
10.1. Palabras de advertencia	37
10.2. Pictogramas.....	37
10.3. Indicaciones de peligro y consejos de prudencia.....	38
11. PROPUESTA DE UN PLAN DE PREVENCIÓN.....	38
12. CONCLUSIONES.....	48
13. ANEXOS.....	49
14. BIBLIOGRAFÍA.....	53

1. RESUMEN

En los últimos años, la prevención de riesgos en el ámbito laboral ha cobrado gran relevancia debido a la creciente importancia de la vigilancia de la salud sobre los trabajadores en lo que a la prevención de la aparición de patologías se refiere.

La prevención primaria no solo disminuye el riesgo de desarrollo de enfermedades profesionales, sino que además implica una reducción de costes, y consiguiente ahorro económico al reducir los gastos empleados en tratamientos de posibles enfermedades profesionales.

En el caso del ámbito sanitario, los hospitales son uno de los lugares donde se produce un mayor número de exposiciones ocupacionales a diferentes agentes (biológicos, químicos, físicos...), entre los que se encuentra la exposición a agentes anestésicos inhalatorios (AAI).

A continuación, se realiza una revisión bibliográfica dirigida a la evaluación y estudio de los gases anestésicos inhalatorios, posibles efectos sobre la salud derivados de la exposición ocupacional, estudio de los valores límite a los que pueden estar expuestos los trabajadores, impacto ambiental y finalmente crear un procedimiento de actuación para evitar enfermedades causadas por la exposición a dichos agentes.

Palabras clave: anestésicos inhalatorios, exposición ocupacional, valores límite, impacto ambiental, plan de prevención.

2. INTRODUCCIÓN

La prevención consiste en el conjunto de actividades y medidas en todas las fases de actividad de una empresa con la finalidad de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo. Riesgo laboral se define como la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo, determinando su gravedad en función de la probabilidad de que se produzca el daño y la severidad del mismo¹.

Las profesiones llevan implícito un riesgo inherente a la naturaleza misma de la especialidad y al ambiente donde el trabajador desarrolla su actividad laboral. Por ello, la vigilancia y evaluación de las condiciones laborales en los centros de trabajo es un factor que en los últimos años está cobrando gran relevancia, pues la disminución de la exposición ante ciertos agentes externos puede evitar o retrasar el desarrollo de enfermedades profesionales².

En el caso del área de la salud, los hospitales son considerados centros de trabajo de riesgo elevado, por el National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) de los Estados Unidos de Norteamérica. En EE.UU se estima que el personal hospitalario tiene aproximadamente un 40% más de probabilidades de perder horas de trabajo a causa de una enfermedad ocupacional que el resto de la población laboralmente activa³.

Las personas que trabajan principalmente en el ambiente hospitalario, y de modo particular en las áreas de alta complejidad como es el caso del área quirúrgica, están potencialmente expuestas a una amplia variedad de agentes con riesgo para la salud del trabajador⁴. En líneas generales, los factores de riesgos ocupacionales a los que se exponen los trabajadores de la salud, pueden clasificarse en: factores de riesgos biológicos, químicos, fisiológicos o de sobrecarga física, sanitarios, físicos, mecánicos o de riesgos de accidentes y factores psicosociales³.

Dentro de los riesgos derivados de las exposiciones a agentes químicos, se encuentran aquellos relacionados con el empleo de agentes anestésicos inhalatorios, siendo de relevancia para personal expuesto de forma cotidiana (cirujanos, anestesistas, enfermeros/as y demás personal expuesto durante su empleo).

Existen diferentes métodos de evaluación de los riesgos químicos por inhalación y exposición producidos por agentes anestésicos inhalados. La realización de medidas ambientales y

biológicas del agente y su comparación con respecto a los valores límite establecidos según las guías de recomendación vigentes resultan de utilidad para calcular si el personal presenta riesgo de padecer alguna enfermedad en relación con la exposición ocupacional.

Con todo lo referido anteriormente, destaca la importancia que tiene la prevención primaria para evitar el desarrollo de enfermedades laborales. Ésta se basa especialmente en el conocimiento del riesgo y en una adecuada aplicación de las medidas de prevención, resultando de utilidad la elaboración de un plan de prevención y actuando principalmente sobre tres factores: foco emisor, vía de transmisión y foco receptor.



3. JUSTIFICACIÓN

En el artículo 4 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), podemos considerar los factores de riesgo laboral, entre los que se encuentran factores de origen físico, químico y biológico. Del estudio y conocimiento de los citados factores de riesgo se encarga la higiene de trabajo, técnica de prevención que se encarga del estudio de las enfermedades profesionales.

En el R.D 274/2001 de 5 de abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores en relación con los riesgos derivados del contacto con los agentes químicos durante el trabajo, específicamente en el artículo 3.5, refiere la importancia de la realización de las mediciones ambientales en la evaluación de los agentes químicos.

La ausencia de una realización de la evaluación de riesgos higiénicos derivados del uso de agentes químicos, así como de medidas preventivas, pueden producir la aparición de enfermedades profesionales.

La justificación del presente Trabajo de fin de Máster se basa en el conocimiento de las implicaciones para la salud del personal sanitario expuesto así como el impacto ambiental producido, derivado del empleo rutinario de los anestésicos inhalatorios.

Una vez conocidos los posibles riesgos derivados de su uso, es posible la elaboración de un plan de prevención, con la finalidad de reducir la incidencia de enfermedades profesionales e impacto ambiental.

La prevención primaria no solo disminuye el riesgo de desarrollo de enfermedades profesionales, sino que además implica una reducción de costes, y consiguiente ahorro económico al reducir los gastos empleados en tratamientos de posibles enfermedades profesionales.

El contenido de esta revisión está dirigida a la evaluación y estudio de los gases anestésicos inhalatorios, posibles efectos sobre la salud derivados de la exposición ocupacional, estudio de los valores límite a los que pueden estar expuestos los trabajadores, impacto ambiental y finalmente crear un procedimiento de actuación para evitar enfermedades causadas por la exposición a dichos agentes.

4. OBJETIVOS

- Comprender las bases físico-químicas de los agentes anestésicos inhalatorios empleados habitualmente en salas de procedimientos quirúrgicos.
- Exponer los riesgos para la salud derivados de la exposición ocupacional a estos agentes.
- Revisar los diferentes valores límite establecidos para los anestésicos inhalatorios.
- Revisar los distintos métodos disponibles para determinar el riesgo de exposición: métodos de cuantificación y medición.
- Establecer diferentes medidas preventivas adecuadas a los riesgos por exposición a agentes anestésicos inhalatorios.



5. MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una búsqueda no sistemática en la literatura a través de la base de datos PubMed utilizando la terminología MeSH mediante la siguiente estrategia de búsqueda: [(occupational exposure) AND (inhaled anesthetics)], [(global warming) AND (anesthetics)].

Se revisaron artículos sin límites de fechas establecidas, incluyendo artículos categorizados como de revisión narrativa y casos clínicos.

Se han incluido notas técnicas de prevención emitidas por el INSST así como guías de práctica clínica emitidas por algunas comunidades autónomas de España.

No se establecieron limitaciones en la selección de manuscritos por el idioma.

Se obtuvo una totalidad de 140 artículos como resultado de las búsquedas realizadas.

Se seleccionó un total de 1 metaanálisis, 18 revisiones bibliográficas y 10 casos clínicos/estudios clínicos, seleccionados por la autora debido a su mayor aportación científica.

Respecto a las Notas técnicas de prevención, se realizó una búsqueda a través del INSHT, obteniendo un total de tres documentos relacionados con el tema a estudio.

Así mismo, se realizó una búsqueda generalizada a través del buscador google, donde se encontraron varias guías de actualización, que han sido incluidas para la confección de la revisión.

También ha sido incluida información obtenida de la ley de prevención de riesgos laborales así como documentos aprobados por el consejo de ministros en relación con la materia a estudio.

Finalmente, ha sido incluida la última actualización publicada por el INSHT del documento "Límites de exposición profesional para agentes químicos en España", en 2021.

6. FUNDAMENTOS

El manejo de los agentes químicos, entre los que se encuentran los gases anestésicos inhalatorios, forma parte de la especialidad de higiene industrial.

Dentro de ella, podemos clasificar cuatro etapas que tienen como objetivo buscar una mejora de las condiciones en las que los trabajadores realizan su labor, las cuales son¹:

1) Higiene Teórica: Consiste en el estudio de los contaminantes, para determinar las relaciones dosis–respuesta, con el fin de establecer unos valores estándar de concentración.

2) Higiene de Campo: Se trata del estudio de la situación higiénica en el lugar de trabajo. Para ello se realizan actividades como: el análisis del puesto de trabajo, la detección de los contaminantes y tiempo de exposición, toma de muestras y comparación de los resultados con los valores establecidos. Esta labor será realizada por un Técnico de Higiene.

3) Higiene Analítica: Investigación y determinación cualitativa y cuantitativa de los agentes contaminantes que se encuentran en el ambiente de trabajo. Esta etapa se encuentra íntimamente relacionada tanto con la higiene teórica como con la higiene de campo.

4) Elección y recomendación de los métodos de control que deben ser implementados para reducir los niveles de concentración presentes en el ambiente de trabajo hasta conseguir unos valores no perjudiciales para la salud.

Cada una de estas fases debe ser supervisada por el el Jefe de Servicio de Prevención de Riesgos Laborales¹.

6.1. Historia

Los agentes anestésicos inhalatorios (AAI) son sustancias volátiles empleadas en algunos procedimientos quirúrgicos con la finalidad de producir efecto hipnótico e incrementar el umbral de sensibilidad al dolor.

Es a partir de 1840 cuando comenzaron a emplearse los gases anestésicos por vía inhalatoria⁵. El cloroformo, éter dietílico y el protóxido de nitrógeno fueron los primeros agentes

empleados con fines anestésicos en procedimientos quirúrgicos. Hacia 1930, se introdujeron el ciclopropano y el tricloroetileno, y posteriormente, en la década entre 1950 y 1960 se emplearon el fluroxeno, halotano y metoxiflurano. Fue posteriormente, cuando se emplearon fármacos derivados halogenados del éter, utilizados más recientemente en la práctica clínica por vía inhalatoria en la inducción y mantenimiento anestésico, como el enflurano (finales de los años 60), isoflurano (finales de los años 80), y desflurano (años 90). Finalmente, en el siglo XX, se empezó a emplear el sevoflurano, siendo a día de hoy el gas anestésico ideal empleado por vía inhalatoria, y por ello el más empleado en la práctica clínica habitual en las salas de quirófano⁶.

Todos estos gases anestésicos son líquidos volátiles. Cada líquido precisa de un vaporizador específico para poder convertir el estado líquido a gas.

El óxido nitroso es un gas anestésico inorgánico cuyo estado basal es gaseoso, por lo que no presenta las características previamente descritas⁶.

Los gases anestésicos más utilizados actualmente son el sevoflurano, desflurano y protóxido de nitrógeno. Las cantidades y mezclas de éstos gases aplicadas a cada paciente, dependen de la patología y naturaleza de cada uno de ellos, del tipo de anestesia que se quiera obtener y de los hábitos de cada anestesista⁶.

Los primeros estudios acerca de los efectos nocivos de los AAI en los trabajadores son descritos por Hewit en 1893. Posteriormente, Kirschner (1925) y Hirsch y Kappurs (1929) determinaron las alteraciones tanto agudas como crónicas derivadas del uso de gases anestésicos. Fue Werthmann en 1948 quien definió la asociación entre la intoxicación crónica por gases inhalatorios y la aparición de alteraciones hematológicas⁷.

En 1967 se realizó un estudio epidemiológico en el que se incluyeron 303 anestesistas soviéticos, concluyendo que existía una asociación entre el uso de AAI y la aparición de alteraciones cerebrales, tales como insomnio, cefaleas, disminución del apetito o irritabilidad. Así mismo, se apreció un aumento de la aparición de abortos espontáneos en las mujeres anestesistas que se encontraban expuestas a agentes anestésicos inhalatorios⁷.

A pesar de todos los estudios realizados, no se han obtenido resultados concluyentes que demuestren la asociación estrecha entre la exposición ocupacional a AAI y alteraciones en la salud.

No obstante, está descrita la presencia de efectos negativos sobre la salud asociados con mediciones de elevadas concentraciones de estos gases en el ambiente de trabajo o la presencia de concentraciones de éstos o de sus metabolitos en el aire exhalado o en fluidos biológicos mayores de los límites establecidos⁷.

Es por ello que resulta necesario la implementación de medidas dirigidas a la vigilancia y protección de la salud de los trabajadores expuestos, dirigidas a reducir o anular el riesgo derivado de la inhalación de agentes anestésicos^{6,7}.

6.2. Clasificación y propiedades físico-químicas.

Los anestésicos inhalatorios se clasifican en dos grupos, líquidos volátiles y gases. (Tabla 1)⁸. A pesar de que el número de agentes disponibles es extenso, en la práctica clínica habitual se reduce al uso de sevoflurano y desflurano como líquidos volátiles, y protóxido de nitrógeno como gas inorgánico⁶

Líquidos Volátiles				Gases	
Éteres		Otros hidrocarburos halogenados		Inorgánicos	Orgánicos
Simples	Fluorados	Simples	Fluorados		
Éter etílico	Metoxiflurano	Cloroformo	Halotano	Protóxido de nitrógeno	Ciclopropano
Óxido de etilo	Isoflurano	Cloruro de etilo			
	Desflurano	Tricloroetileno			Trimetileno
	Sevoflurano				
	Enflurano				

Tabla 1. Clasificación de los anestésicos inhalatorios. Tabla modificada de Ginesta y Gestal⁸.

Los anestésicos inhalatorios presentan un mecanismo de acción común. Sin embargo, cada anestésico inhalatorio presenta diferentes propiedades farmacocinéticas (absorción, distribución, metabolismo y eliminación) y farmacodinámicas, que determinan las características propias de cada agente, así como su potencia anestésica^{9,10}.

Las características físico-químicas de los compuestos más utilizados actualmente se muestran en la siguiente tabla¹¹.

	Desflurano	Enflurano	Halotano	Isoflurano	Metoxiflurano	Sevoflurano	Óxido nitroso
Fórmula química	C ₃ F ₄ OClH ₃	C ₃ F ₄ OCl ₂ H ₂	C ₂ F ₄ ClH	C ₃ F ₅ OClH ₂	C ₃ F ₂ OCl ₂ H ₄	C ₄ F ₆ O ₃ H ₃	N ₂ O
N° CAS	57041-67-5	13838-16-9	151-67-7	26675-46-7	76-38-0	28523-86-6	10024-97-2
Peso molecular	168	184	197	184	165	200	44
Punto de ebullición	22.8	56.5	50.2	48.5	104.7	58.6	-88.5
Densidad	1.47	1.52	1.86	1.5	1.41	1.52	1.53
Presión de vapor a 20°C	667	175	243	250	25	157	39000
Coefficientes de partición sangre/gas	0.42	1.9	2.3	1.4	13	0.63	0.47
Metabolización (%)	0.02	2.4	15-20	0.20	50	3	-

Tabla 2. Características físicoquímicas de los anestésicos inhalatorios. Tomada de Guardino y Roseel¹¹.

La presión de vapor de un gas anestésico inhalatorio indica la medida de la tendencia que tiene ese anestésico para pasar de su forma líquida a su forma gaseosa. Agentes con alta presión de vapor como el desflurano, el halotano o el isoflurano se evaporan fácilmente.

El coeficiente de partición sangre/gas es indicativa de la solubilidad del gas anestésico, y se define como la diferencia de concentración del anestésico existente entre la sangre y el alveolo. De este modo, un coeficiente sangre/gas bajo indica una baja solubilidad en sangre del gas, lo que se traduce en una inducción anestésica más rápida. Sin embargo, una alta solubilidad indica que el anestésico difunde en mayor medida a sangre y tejidos, produciéndose una inducción más lenta.

La concentración alveolar mínima (CAM) es la concentración a la que el 50% de la población no responde a un estímulo doloroso; la CAM es indicativo la potencia que tiene el anestésico.

En la siguiente tabla, aparecen descritas las vías de metabolización y eliminación de cada uno de los gases anestésicos inhalatorios¹².

NOMBRE	ELIMINACIÓN AIRE ESPIRADO	METABOLIZACIÓN	METABOLITOS EN ORINA
ÓXIDO NITROSO	>90 %	-	-
HALOTANO	60-80%	5% EN HÍGADO	Ac. Trifluoroacético
ENFLURANO	80 %	2,5% EN HÍGADO	Difluorometoxidifluoroacético Ión fluor
ISOFLURANO	>70%	0,2 %	Ac. Trifluoroacético Ión fluor
DESFLURANO		0,02 %	Ac. Trifluoroacético
SEVOFLURANO		3 %	Hexafluoroisopropano

Tabla 3. Metabolismo y eliminación de los gases anestésicos inhalatorios¹².

6.3. Definición y conceptos generales

Trabajador expuesto:

Se considera trabajador expuesto a aquél que realiza sus funciones laborales en aquellos lugares en los que se encuentran presentes AAI.

La exposición profesional a AAI depende cuantitativamente de la utilización de sistemas adecuados de extracción de gases y de sistemas de ventilación que produzcan un número suficiente de renovaciones, que se cifra en un mínimo de 10 intercambios de aire por hora en la sala de operaciones. De este modo, debe considerarse personal expuesto a AAI al personal que realiza su trabajo en dependencias cercanas a aquellas en las que se utilizan dichas sustancias en los que no haya sistemas adecuados de extracción de gases o ventilación¹².

Control biológico:

El control biológico permite una realizar una estimación de la exposición de los trabajadores a contaminantes químicos. Para ello, se realiza una medición de los determinantes adecuados en las muestras biológicas de los trabajadores.

El determinante medido puede ser la misma sustancia química, sus metabolitos, o una modificación bioquímica propia de la acción de la sustancia sobre el organismo. La muestra a analizar puede proceder de aire espirado, orina, sangre u otros medios biológicos extraídos del trabajador expuesto.

Dependiendo de la sustancia química, del determinante obtenido, el medio biológico elegido y el momento de su extracción, esta medida puede indicarnos si la duración e intensidad de la exposición (reciente, media o crónica acumulativa)¹².

Valores límite ambientales (VLA)

Son valores límite de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador.

6.4. Fuentes de exposición y usos

Las pautas de vigilancia médica que se indican son de aplicación a las personas en las que se dan las siguientes condiciones de aplicación:

Trabajadores expuestos en el ámbito sanitario¹²:

Pueden considerarse expuestos, dentro del ámbito sanitario, los grupos de trabajo contenidos en la siguiente lista, aunque debe considerarse una lista orientativa y no cerrada:

- Personal sanitario cuyo lugar de trabajo es el ámbito quirúrgico (quirófanos y salas de endoscopias, exploraciones radiológicas, CPRE)
- Personal sanitario cuyo lugar de trabajo son las salas de reanimación
- Personal sanitario que trabaje en salas de partos donde se utilice mezcla de oxido nitroso-oxígeno como alternativa a la anestesia epidural.
- Personal que trabaja en clínicas veterinarias en las que se encuentran salas quirúrgicas (veterinarios, auxiliares)
- Odontólogos, estomatólogos y demás personal sanitario que trabaja en clínicas dentales.
- Personal de laboratorios de investigación que utilicen gases inhalatorios en animales vivos.

7. EFECTOS SOBRE LA SALUD

Existe extensa bibliografía acerca de la posible peligrosidad de los agentes anestésicos inhalatorios en el ámbito laboral descritos desde finales del siglo XIX (Hewitt FV 1893). Sin embargo, no fue hasta 1967, cuando Abisman (Abisman 1967) publicó el primer estudio epidemiológico acerca de 303 anestesistas soviéticos expuestos a anestésicos inhalatorios. Éste fue el punto de partida inicial para la investigar la toxicidad de los AAI, ya que éste estudio puso de manifiesto la asociación entre exposición a anestésicos y cefaleas, aumento de irritabilidad, trastornos de sueño, pérdida de apetito, disminución de la resistencia al alcohol e incluso se observó una alta incidencia de abortos espontáneos entre las mujeres expuestas¹³.

En 1974 el Comité de la Sociedad Americana de Anestesiología elaboró un informe (American Society 1974) tras realizar una valoración de la incidencia de efectos nocivos sobre la salud del personal expuesto a gases anestésicos inhalatorios. En dicho informe, se mostró un

mayor índice de abortos en mujeres expuestas (20%) que en no expuestas (10%), mayor número de anomalías congénitas en mujeres expuestas (5-9%) que en no expuestas (3-7%), mayor incidencia de enfermedades hepáticas y renales así como mayor frecuencia de procesos oncológicos. Sin embargo, actualmente existen controversias al respecto, ya que otros estudios no han demostrado resultados concluyentes¹³.

7.1. Exposiciones agudas

Las fichas internacionales de seguridad química (FSIQ) especifican los efectos adversos para la salud que pueden aparecer tras el empleo de agentes anestésicos inhalatorios.

En cuanto a los efectos secundarios derivados del empleo de agentes volátiles pueden presentarse algunos efectos como mareo, somnolencia, cefaleas, náuseas y/o vómitos¹⁴.

En cuanto a los efectos secundarios derivados del empleo de protóxido de nitrógeno, pueden presentarse efectos como somnolencia, vértigos, alteraciones en la coordinación y, si es empleado a altas concentraciones, pueden llegar a aparecer efectos como asfixia y muerte por falta de oxígeno. También han sido descritos efectos como congelación tras el contacto directo del gas con piel y ojos¹⁵.

7.1.1. Irritación y sensibilización

Isoflurano: Han sido varios los estudios descritos acerca de la repercusión del uso de isoflurano sobre trabajadores expuestos, concluyendo que la exposición a dosis subanestésicas (1150-4600 partes por millón (ppm)) durante al menos 20 minutos no produce efectos irritantes. Sin embargo, ante una exposición nasal empleando mayores dosis (10000, 30000 y 50000 ppm), se ha constatado un aumento de la tensión de la pared laríngea y tráquea así como un aumento del tiempo espiratorio en más de 5 segundos tras insolación nasal a 50000 ppm. El tiempo espiratorio se produce posiblemente debido a la activación de los receptores reflexogénicos en la nariz, lo que indica la irritación de las vías respiratorias a altos niveles de exposición. Algunos estudios han notificado un aumento de la sensibilización a isoflurano, registrando un olor desagradable tras respirar 4000 ppm de isoflurano, así como náuseas y vómitos.

Sevoflurano: No se han encontrado estudios respecto a la irritación.

Desflurano: La exposición a dosis subanestésicas (6000 ppm) durante tres minutos de exposición no ha demostrado producir sintomatología respiratoria. Se ha descrito que una concentración inspirada de 30000 ppm hasta un máximo de 120000 ppm, presentando en la mayoría de los casos laringoespasma, tos y aumento de las secreciones. Por otra parte, se describió el olor como “ quemado “ o “ jabón en la nariz”¹⁶.

Han sido descritos varios casos de reacciones alérgicas y asma ocupacional a isoflurano y sevoflurano en anestesistas tras 3 años de exposición, sin identificarse reacciones al desflurano.

Se ha constatado algún caso aislado de reacción anafiláctica por sevoflurano durante la anestesia general, produciendo una disminución del FEV1 en un 32%.

De forma aislada, ha sido descrito un caso de fluoroderma en un paciente expuesto a sevoflurano durante 2 horas, desarrollando posteriormente unos nódulos ulcerados en la región de la cara, cuello y manos¹⁷.

Así mismo, hay algunos estudios que describen alteraciones de la función cognitiva ante exposiciones de 4 horas a 500 ppm de N₂O. Entre la sintomatología neurológica descrita se presentaron déficits de atención, pérdida de la memoria a corto plazo, dificultades en la lectura y en la comprensión, así como alteraciones en la organización visual espacial¹².

Los déficits comenzaron a resolverse de forma paulatina tras el cese de la exposición.

A continuación, se encuentran los efectos agudos resumidos en la siguiente tabla:

VÍA DE ENTRADA	N2O	SEVOFLURANO E ISOFLURANO
Inhalación	Excitación, vértigo, somnolencia, incoordinación, >50% produce anestesia. A altas concentraciones pueden causar asfixia por falta de oxígeno.	Confusión Vértigo Náuseas Somnolencia
Contacto con la piel y mucosas	Frío o licuado, puede causar congelación grave.	Sequedad Enrojecimiento
Contacto con los ojos	Frío o licuado, puede causar congelación grave.	Produce ojo rojo

Tabla 4. Efectos de los fármacos anestésicos inhalatorios en exposiciones agudas⁶.

7.2. Exposiciones crónicas

La patología relacionada con la exposición crónica a agentes anestésicos inhalatorios es muy amplia y dispersa, habiéndose descrito afectación a diversos órganos.

7.2.1. Daño genético

Algunos estudios han estudiado la asociación entre la exposición ocupacional a agentes inhalatorios y repercusión a nivel celular.

En un estudio publicado, se evaluó la toxicidad celular en médicos residentes expuestos a anestésicos inhalatorios (óxido nítrico y sevoflurano), mediante el uso del test mitológico bucal para detección de MN (BMcyt "Buccal Micronucleus Citome assay"), un método mínimamente invasivo para el estudio del daño en ADN, inestabilidad cromosómica, muerte celular y potencial regenerativo en mucosa oral humana. Con ello se puede de detectar el daño celular que ha sufrido el ADN pudiéndose detectar de forma temprana alteraciones nucleares¹⁸.

En el presente estudio, los residentes de anestesiología pasaron 60 horas a la semana (alta exposición), con menor frecuencia de células basales y mayores frecuencias de MN, cariorrexis y picnosis, comparado con los residentes de cirugía, los cuales pasaron 18 horas semanales¹⁸.

Estos datos han sido constatados en estudios realizados con óxido nitroso y sevoflurano, demostrando que una mayor exposición a estos agentes combinados presentan mayor incidencia de inestabilidad genética y potencial proliferativo celular¹⁸.

La evidencia del daño genético derivado de la exposición ocupacional a isoflurano es controvertida. Exposición a altas dosis (4 ppm) se han relacionado con daño del ADN de los linfocitos. Sin embargo, no se han objetivado alteraciones con exposiciones más bajas (< 0,5 ppm durante 3 meses). Estos resultados han sido reproducidos en diferentes estudios, no existiendo correlación entre la genotoxicidad y la exposición a diferentes concentraciones de isoflurano en personal expuesto durante 5 años¹⁹.

En un estudio realizado para estudiar el riesgo derivado del uso de varios compuestos químicos empleados de uso hospitalario, Musak et al encontraron un número mayor de aberraciones cromosómicas en el personal expuesto a isoflurano y sevoflurano; sin embargo estos resultados no fueron consistentes en dos los estudios, y encontraron diferencias en cuanto a las diferentes exposiciones debido al tipo de trabajo; señalaron que las alteraciones cromosómicas se relacionaron con los niveles ambientales de gases anestésicos en lugares donde existía una ventilación defectuosa del gas²¹.

Respecto al desflurano, se ha demostrado en los estudios in vitro que sugieren un efecto genotóxico de actividad similar al halotano. Sin embargo, debido a sus características farmacodinámicas la actividad tóxica del desflurano en personal expuesto es significativamente más baja que el halotano.

Los resultados acerca de la genotoxicidad del sevoflurano tras la exposición ocupacional son controvertidos, ya que algunos autores asocian la exposición a sevoflurano con un intercambio en las cromátidas en personal expuesto. En contraste, otros estudios in vivo no han sido capaces de reproducir estos resultados y algunos autores concluyen que el sevoflurano no se asocia con el desarrollo de genotoxicidad.

En una completa revisión centrada en la genotoxicidad y los anestésicos, Schifilliti et al concluyeron que a pesar de la ausencia de datos consistentes, la exposición a óxido nitroso combinado con gases anestésicos halogenados pueden aumentar el riesgo de genotoxicidad. Los autores describen la presencia de una gran cantidad de factores de confusión¹⁹.

7.2.2. Riesgo de aborto espontáneo ante exposición a gases anestésicos

Durante muchos años, las trabajadoras expuestas a agentes inhalatorios, han evitado la exposición a ellos debido a la supuesta relación con un aumento de la incidencia de abortos espontáneos. Sin embargo esta afirmación, hasta la actualidad, no ha sido del todo establecida, existiendo controversias al respecto²¹.

Existen multitud de artículos que sí asocian la exposición a agentes inhalatorios con el riesgo de aborto.

La mayoría de estos estudios, fueron publicados alrededor de 1980¹³, antes de la introducción de los sistemas de extracción de gases inhalatorios a las salas donde eran empleados estos compuestos.

Otros artículos, describen la presencia de factores de confusión (sesgos de oposición), asociando la presencia de aborto con factores personales (como el estrés y estilo de vida). Algunos de los artículos que sí muestran su asociación, describen que la incidencia de aborto se relaciona con una ausencia de sistema de extracción de gases²², y solamente ha sido descrita con óxido nitroso, sin encontrarse casos descritos respecto a los agentes inhalados fluorados.

Un estudio publicado recientemente, incluyendo trabajadoras enfermeras expuestas, no ha demostrado una asociación entre la exposición a agentes inhalatorios y riesgo de aborto, atribuyéndose la exposición a otros agentes, como los fármacos antineoplásicos²³.

Los datos de un metaanálisis publicado, sugiere que el riesgo de aborto espontáneo es bajo o ausente cuando hay un adecuado sistema de extracción de gases o cuando la exposición a gases no recuperados es baja²⁴.

7.2.3. Alteraciones dermatológicas

A pesar de que es escasa la bibliografía existente acerca de las reacciones dermatológicas producidas por anestésicos inhalatorios, éstas han sido descritas con la exposición ocupacional a isoflurano y con sevoflurano.

La primera descripción documentada de un caso de dermatitis de contacto fue diagnosticada en 1998, con la exposición de un anestesista a isoflurano durante 25 años; la realización de pruebas de diagnóstico de alergia fueron negativas, y no respondía a tratamiento sintomático, mejorando finalmente con el cese de la exposición al gas.

Recientemente ha sido descrito un caso aislado de dermatitis por exposición a sevoflurano en un cirujano expuesto a dicho agente durante 30 años²⁵.

7.2.4. Alteraciones de la función hepática y renal

Es conocido que los órganos principales afectados derivados por el uso de los agentes anestésicos inhalatorios sevoflurano e isoflurano son el hígado y el riñón, ya que son metabolizados por vías relacionadas con estos órganos, incluyendo el citocromo P-450. Sin embargo, existen controversias en la literatura en cuanto a la asociación entre la exposición ocupacional a anestésicos inhalatorios y el desarrollo de hepatotoxicidad y nefrotoxicidad.

Algunos estudios²⁶, demuestran en sus estudios la presencia de parámetros elevados de la función renal (ALT, AST) en personal sanitario expuesto a isoflurano y sevoflurano, asociándose a una disminución del flujo sanguíneo hepático así como una disrupción de los mecanismos implicados en la homeostasis del calcio²⁷.

A pesar de que las razones en cuanto a las discrepancias no son conocidas, podrían ser debidas a la diferencia en cuanto al tipo de estudio realizado, concentración de gas empleada, exposición concomitante a otros gases o a la selección inapropiada de los grupos (sesgos de selección).

En un reciente estudio de cohortes, publicado en 2020, se estudió la asociación entre el desarrollo de efectos hepatotóxicos y nefrotóxicos asociados a la exposición de óxido nítrico, sevoflurano e isoflurano. El grupo expuesto estaba compuesto por profesionales sanitarios

expuestos habitualmente (anestesiistas, cirujanos, enfermeros) durante un año, frente al grupo no expuesto (personal administrativo del hospital).

La elevación de las enzimas hepáticas (AST, ALT, GGT), niveles de calcio y creatinina fue superior en el grupo expuesto, de forma estadísticamente significativa. Sin embargo, los niveles de creatina elevados podrían ser atribuidos a otros factores. No se obtuvieron diferencias entre los grupos en cuanto a los niveles serios de albúmina, proteínas totales, bilirrubina, fósforo y potasio.

Por ello, los estudios más recientes describen que la exposición ocupacional a agentes halogenados pueden causar cambios prepatológicos en parámetros analíticos hepáticos y renales. El biomarcador alfa GST y KIM-1, hepático y renal respectivamente, se recomienda realizar en pacientes expuestos para un diagnóstico precoz de posibles alteraciones orgánicas al respecto.

7.2.5. Déficits en la función cognitiva

La encefalopatía tóxica crónica (CTE) ha sido descrita clásicamente en trabajadores expuestos a disolventes orgánicos. Sin embargo, no había sido descrito en personal expuesto a anestésicos inhalatorios hasta 2007. El desarrollo de encefalopatía tóxica crónica (CTE) fue descrito en anestesiistas pediátricos expuestos a gases anestésicos inhalatorios durante tres años, en salas quirúrgicas en las que existía una elevada concentración de gases (óxido nitroso: 311 ppm con niveles pico 1600 ppm; halogenados: 16 ppm, niveles pico 1600 ppm) debido a la presencia de sistemas de extracción de gases defectuosos.

7.2.6. Alteraciones hematológicas

Los efectos tóxicos hematológicos derivados del uso de gases anestésicos se han relacionado con el uso a dosis analgésicas y anestésicas de óxido nitroso y no a niveles compatibles con exposición ocupacional.

En cuanto a los derivados fluorados, no se han constatado alteraciones de este tipo al respecto.

En nuestro país, en el Real Decreto 1299/2006 de 10 de Noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social, ha descrito la inclusión de las afecciones derivadas de la exposición a agentes anestésicos inhalatorios dentro de éste cuadro.

8. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

8.1. Higiene teórica, funciones y definición

Hoy en día, existe un mayor riesgo y un incremento de peligros para la salud del trabajador derivado de su actividad laboral, así como un aumento en la generación de materiales de deshecho que provocan en el ambiente la aparición de un mayor número de sustancias tóxicas.

Debido a la imposibilidad de poder eliminar por completo los agentes potencialmente peligrosos en el ambiente laboral, puede ser de gran utilidad estudiar y definir para cada contaminante aquellos niveles de concentración que no producen alteraciones importantes para la salud de los trabajadores expuestos.

Este aspecto se aborda en la rama de la Higiene Teórica, cuyo objetivo fundamental consiste en establecer los valores standards de concentración de los agentes en el ambiente así como los períodos límites de exposición a los cuales la mayor parte de los trabajadores pueden estar expuestos de forma repetida sin producirse efectos perjudiciales para su salud¹.

El tiempo de exposición a un contaminante y la cantidad de concentración del contaminante presente en un medio laboral, junto con el tiempo de exposición al mismo, nos permitirá evaluar el riesgo higiénico existente en un determinado puesto de trabajo¹.

8.2. Criterios de Valoración del Riesgo Higiénico

Los valores standards dependen de los criterios de valoración utilizados. Los más conocidos son los criterios propuestos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) y por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

El criterio propuesto por la ACGIH se basa en los denominados TLVs (TLV-TWA, TLV-C, TLV-STEEL) y BEIs y constituyen el criterio de valoración técnica más ampliamente conocido y aplicado¹.

- Media ponderada en el tiempo (TLV-TWA). (Threshold Limit Value-Time Weighted Average). Concentración media ponderada en el tiempo a que puede estar sometida una persona normal durante 8 horas al día y 40 horas semanales. Se utiliza para todo tipo de contaminante.
- Limite de exposición para cortos períodos de tiempo (TLV-STEEL). (Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limit). Concentración máxima a la que pueden estar expuestos los trabajadores durante un período continuo de hasta 15 minutos sin sufrir trastornos irreversibles o intolerables. La exposición a esta concentración está limitada a 4 por día, espaciadas al menos en una hora y sin rebasar en ningún caso el TLV-TWA diario.
- Valor techo (TLV-C). (Threshold Limit Value-Ceiling). Corresponde a la concentración que no debe ser rebasada en ningún momento.

El criterio propuesto por el NIOSH se basa en los denominados valores REL (REL-TWA, REL-C).

Criterios utilizados en España¹:

En España han sido empleados durante años los criterios basados en los TLVs establecidos en los EEUU.

- Concentración promedio permisible (CPP): Se corresponde con los valores TLV-TWA o los VLE.
- Concentración máxima permitida (CMP): Se corresponde con los valores TLV-C.

A partir de la publicación del Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, y el Documento sobre “Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España”, publicado por el INSHT, se produjo en España un importante

cambio ya que dejaron de emplearse los criterios basados en los EEUU y se introdujeron nuevos valores de referencia²⁸:

- Valores límites ambientales (VLA)
- Valores límites biológicos (VLB)

Normativa vigente en España:

Existen normativas establecidas en nuestro país que establecen la utilización de valores límite de exposición para poder valorar el riesgo por exposición a agentes químicos tras la medición de las concentraciones en el aire del puesto de trabajo; éstas son las disposiciones relativas a la evaluación de riesgos de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales²⁹, y Real Decreto 39/1997³⁰, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

El Real Decreto 374/2001³¹ sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo remite a los valores límite de exposición profesional publicados por el INSST como valores de referencia para la evaluación y control de los riesgos producidos por la exposición de los trabajadores a ciertos agentes químicos.

Por ello, actualmente se encuentra vigente el documento publicado por el INSHT en 2021 sobre Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España, en el que aparecen publicados los valores límites ambientales derivados de la exposición profesional²⁸.

En este documento se consideran dos tipos de valores límite como límites de exposición profesional: valores límite ambientales (VLA), y Valores Límite Biológicos (VLB).

8.3. Valores límite Ambientales. Control Ambiental

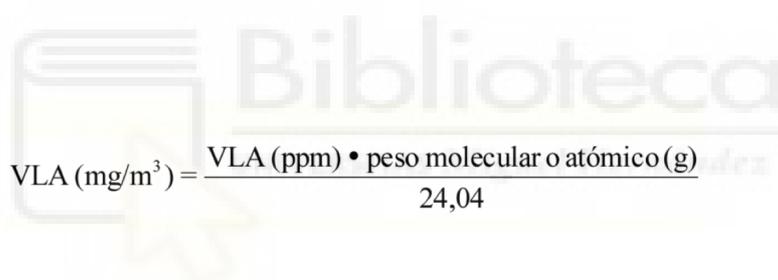
Son los valores de referencia establecidos para las concentraciones de los agentes químicos en el aire. Representan condiciones a la cuales se cree, que la mayor parte de los trabajadores pueden estar expuestos durante toda su vida laboral, sin presentar efectos adversos para su salud derivados de la exposición¹.

Los valores límite ambientales se establecen tras obtener la información de estudios in vitro, estudios experimentales en animales así como de exposiciones en voluntarios. Para su establecimiento, también han sido tomados datos derivados de la experiencia industrial y estudios epidemiológicos¹.

Los VLA sirven exclusivamente para la evaluación y el control de los riesgos por inhalación de los agentes químicos incluidos en la lista de valores¹.

Unidades de los Valores límite Ambientales:

El valor límite para los gases y vapores se establece originalmente en ml/m³ (ppm), valor independiente de las variables de temperatura y presión atmosférica, pudiendo también expresarse en mg/m³ para una temperatura de 20C° y una presión de 101,3 kPa, valor que depende de las citadas variables. La conversión de ppm a mg/m³ se efectúa utilizando la siguiente ecuación:


$$\text{VLA (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{VLA (ppm)} \cdot \text{peso molecular o atómico (g)}}{24,04}$$

Tipos de Valores Límite Ambientales:

- Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria (VLA-ED): Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (ED). Concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para una jornada laboral estándar de 8 horas diarias¹.

Los VLA-ED representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas diarias y 40 horas semanales durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud¹.

- Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración (VLA-EC): Es el valor de referencia para la Exposición de Corta Duración (EC). Concentración media del agente químico en la

zona de respiración del trabajador, medida o calculada para cualquier período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral¹.

En 1977 el National Institute for Occupational Safety and health (NIOSH), estableció para los agentes anestésicos como cloroformo, tricloroetileno, halotano, metoxiflurano, fluroroxeno y enfurano un valor límite recomendado (REL) de 2 ppm como valor techo durante 60 min. Posteriormente, los agentes isoflurano, desflurano y sevoflurano, fueron incluidos en esta recomendación. Estos valores REL propuestos por NIOSH estaban basados en la más baja concentración capaz de ser detectada utilizando los procedimientos descritos para la toma de muestra y análisis, y son aplicables a cualquier agente anestésico halogenado cuando se utiliza solo¹.

A pesar del establecimiento de unos valores REL por la NIOSH, ésta reconoce que los datos sobre la exposición a estos gases en humanos y animales son insuficientes para establecer un valor límite seguro¹.

En el documento emitido por el INSST sobre agentes químicos, publicado en 2021, se relacionan los agentes químicos que tienen un valor límite adoptado, identificados por sus números CE (número oficial de la sustancia en la Unión Europea) y CAS (Chemical Abstract Service o Servicio de Resúmenes Químicos). A continuación, en las siguientes dos columnas, aparecen los Valores de Exposición Diaria (VLA-ED) y los de Exposición de Corta duración (VLA-EC). En la columna contigua, aparece "Notas", en las que algunos agentes presentan información complementaria de utilidad práctica²⁸.

En cuanto a los agentes que estamos tratando, en España se disponen los VLA establecidos para halotano, enflurano, isoflurano y protóxido de nitrógeno; no disponiendo de límites para desflurano y sevoflurano.

En cuanto al sevoflurano, gas no inflamable más empleado en la práctica habitual, el NIOSH todavía está trabajando para establecer un límite específico (NIOSH), y la mayoría de los países occidentales carecen de regulación específica³². Además, estos límites no se encuentran uniformemente regulados entre los pocos países que se han establecido unos valores límites.

En cuanto a los límites establecidos por algunos países europeos, los límites para el rango de sevoflurano es de 5 partes por millón (ppm) en Dinamarca³³, 20 ppm en Noruega³⁴, mientras que en Finlandia y Suecia comparten dos límites: uno de 10 ppm para exposición a largo plazo (considerada como jornada laboral de 8 horas) y también un límite de 20 ppm para exposición a corto plazo (considerado como 15 minutos)³⁵.

Un estudio español publicado recientemente, evalúa la magnitud de la exposición ocupacional aguda al sevoflurano tras la aplicación tópica sobre heridas dolorosas. Tras tratar a cuatro pacientes con heridas crónicas dolorosas con sevoflurano tópico y colocar ocho dosímetros pasivos en diferentes ubicaciones de una sala de tratamiento con 163 m³ y 3.3 cambios de aire por hora, se evaluó la exposición ambiental a la que estaba expuesta el personal sanitario presente. El nivel de exposición más alto fue obtenido por la enfermera que se encontraba en la zona de respiración (8,28-9.12 ppm) mientras que el nivel más bajo se obtuvo del dosímetro colocado en la pared más lejana situada de los pacientes (0,73 ppm). Con este estudio, se concluía que todas las concentraciones de aire medidas fueron inferiores a los límites de exposición establecidos por las agencias de seguridad ocupacional de Finlandia, Suecia y Noruega, que van desde 10 ppm para un TWA de 8 horas a 20 ppm para exposiciones a corto plazo (15 minutos), por lo que parece ser que la aplicación de sevoflurano tópico parece ser ambientalmente seguro para los profesionales de la salud, siendo inferior a los límites establecidos para procedimientos anestésicos³⁶.

	OXIDO NITROSO				HALOTANO				DESFLURANO				ISOFLURANO				SEVOFLURANO			
	ELV-DE		ELV-SE		ELV-DE		ELV-SE		ELV-DE		ELV-SE		ELV-DE		ELV-SE		ELV-DE		ELV-SE	
	P p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3	p p m	Mg /m 3	p p m	Mg /m 3	P p m	Mg /m 3
Finlandia	100	180	-	-	1	8.2	3	25	10	70	20	14	10	77	20	15	100	83	20	170

Polonia																	55			
Suecia	1 0 0	18 0 0	5 0 0	90 0 0	5	40	1 0	80	1 0	70	2 0	14 0	1 0	80	2 0	15 0	1 0	80	2 0	17 0
Dinamarca	5 0	90	-	-	5	40	-	-	5	35	-	-	5	38			5	42	-	-
Noruega	5 0	90	-	-	0. 0 2	0,2	-	-	2 0	14 0	-	-	2	15	-	-	2 0	14 0	-	-
Austria	1 0 0	18 0 0	4 0 0	72 0 0	5	40	2 0	16 0					1 0	80	2 0	16 0	1 0	80	2 0	17 0
Alemania	1 0 0	18 0 0	2 0 0	36 0 0	5	41	-	-												
Reino Unido	1 0 0	18 3 0	-	-	1 0	82	-	-					5 0	38 3	-	-				
Suiza	1 0 0	18 2 0	2 0 0	36 4 0	5	40	4 0	32 0					1 0	77	8 0	61 6				
Bélgica	5 0	91	-	-	5 0	41 0	-	-					5 0	38 3	-	-				
España	5 0	92	-	-	5 0	41 0	-	-					5 0	38 3	-	-				
USA(OSHA)			-				-													

USA(NIOSH)			2 5*				2*					2*					2*	
USA(A CGIH)	5 0				5 0													

Tabla 5. Valores límite ambientales en exposiciones ocupacionales a agentes anestésicos inhalatorios. ELV-DE: Valor de referencia para la exposición diaria de la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador, medida o calculada como media ponderada en el tiempo para una jornada laboral estándar de ocho horas; ELV-SE: Valor de referencia para la exposición de corta duración; normalmente estimada para un período de exposición ocupacional de 15 minutos. La NIOSH establece valores límite que no se pueden superar durante el período de 1 hora³².

Un estudio realizado en España, midió los niveles ambientales de sevoflurano y óxido nitroso en la zona respiratoria del anestesiólogo de un quirófano durante la anestesia inhaladora de 24 niños³⁷. Se recogieron datos sobre los síntomas clínicos del cirujano y la enfermera relacionados con la exposición laboral. Con uso del dispositivo de extracción de gases, se obtuvo una exposición durante la jornada laboral de 0,43 ppm para sevoflurano (0,2 veces el VLA-ED vigente recomendado en España), manteniéndose incluso inferior a los límites de EE.UU que son los más estrictos publicados (0.5 ppm en combinación con óxido nitroso). El nivel de contaminación ambiental se redujo hasta en un 94% en quirófano, consiguiendo una menor incidencia de efectos adversos en el personal sanitario expuesto.

El VLA-ED estándar de sevoflurano no ha sido establecido en Europa por falta de estudios epidemiológicos que demuestren los riesgos sanitarios, pero en un futuro el nivel recomendado se espera que sea similar a los valores de isoflurano o enflurano, es decir, entre los 10 y 20 ppm¹¹.

En España, se ha sugerido un VLA de 20 ppm (100 veces inferior al que produce efectos clínicos).

Evaluación de la exposición. Control ambiental ¹¹

Lectura directa:

Mediante monitores de lectura directa pueden determinarse los niveles de halotano, isoflurano, sevoflurano, desflurano y óxido nitroso.

El analizador de aire portátil MIRAN determina los niveles de dichos gases anestésicos. La OSHA recomienda el empleo de este sistema de medida.

Lectura indirecta:

- Captación activa:
 - Método de determinación en aire de isoflurano, enflurano, desflurano, halotano. Análisis mediante el método de adsorción en carbón/cromatografía de gases. Método MTA/MA-0.46/A00.
 - Método de determinación en aire de protóxido de nitrógeno. Análisis mediante el método de captación en bolsas inertes ó cromatografía de gases. Método MTA/MA-020/A91. (NTP 606)

- Captación pasiva (mediante difusión):
 - Método de captación para isoflurano, desflurano y sevoflurano con muestreadores pasivos por difusión, deserción térmica/ Cromatografía de gases.

8.4. Valores límite Biológicos. Control Biológico

Son valores de referencia para los indicadores biológicos asociados a la exposición del trabajador a los agentes químicos tras exposiciones de 8 horas diarias durante 5 días a la semana¹.

Un indicador biológico es un parámetro medido en el medio biológico del trabajador en un momento determinado, y que está asociado, directa o indirectamente con la exposición global a un agente químico. Los medios biológicos empleados son el aire exhalado, la orina, la sangre y otros¹.

En función del parámetro que se utilice, el momento en el que se tome la muestra así como en el medio empleado para realizar la medición, podremos indicar la intensidad de la exposición, clasificándola en reciente, diaria o total acumulada en el organismo¹.

El medio más frecuente de análisis en muestras es la orina, tomada de forma puntual, ya que no resulta sencillo obtener una muestra de orina recogida durante un largo período de tiempo. Sin embargo, la medición de muestras puntuales puede conllevar una serie de limitaciones como la función renal, la ingesta de líquidos o sólidos, el consumo de medicamentos... siendo éstos factores que pueden alterar la concentración o dilución de la orina y afectar así al resultado de los indicadores²⁸.

Se establece que no serán susceptibles de estudio aquellas muestras en orina que se encuentren muy diluidas (densidad < 1,010 g/ml o creatinina <0,3 g/l) o las muy concentradas (densidad >1,030 g/ml o creatinina >3,0 g/l), debiendo repetirse en estos casos la toma de muestra.

En cuanto a la medición de los indicadores biológicos en sangre, la muestra se tomará en sangre venosa.

Los indicadores biológicos pueden ser²⁸:

- IB de dosis: parámetro que mide la concentración del agente químico o de alguno de sus metabolitos en un medio biológico de un trabajador expuesto a dicho agente.
- IB de efecto: parámetro que permite identificar alteraciones bioquímicas reversibles derivadas de la exposición del trabajador a un agente químico.

Las primeras publicaciones del Documento en el que se publicaron los límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España no incluyeron los valores límite biológicos, siendo incluidos a partir de la edición publicada en el año 2000. En la última edición más

reciente de 2021, aparece incluida la lista de Valores Límite Biológicos para los agentes químicos²⁸.

En cuanto a los fármacos que estamos tratando, el INSHT no tiene asignados VLB para ningún agente. Sin embargo, existen estudios para poder llegar a establecer VLB relacionados con los VLA^{28,11}.

Anestésico	Indicador biológico	Valor propuesto	Momento del muestreo	Exposición ambiental de referencia
Halotano	Aire exhalado	0,05 ppm	Durante la exposición	5 ppm
Halotano	Orina	0,25 mg/g creatinina	Final de la jornada laboral	—
Halotano	Ácido trifluoroacético en sangre	2,5 mg/l	Final de la semana laboral	—
Isoflurano	Orina	3,3 ug/l	Después de 4 horas	2 ppm

Tabla 6. Valores límites biológicos de agentes anestésicos inhalados basados propuestos según resultados de diferentes estudios¹¹.

Sin embargo existen estudios que establecen VLB relacionándolos con los VLA:

Halotano: Se han propuesto 3 indicadores de exposición:

- Ácido trifluoroacético en sangre: se considera un nivel máximo de exposición a 2,5 mg/l en sangre tomada después de la jornada laboral.
- Halotano en orina: una concentración 3,7 mg/l se corresponde con una concentración ambiental de 0,5ppm, 6,8 mg/l en orina con 2 ppm y 10, 6 con 50 ppm.
- Halotano en aire alveolar: Se ha propuesto un nivel de 0,05 ppm (correspondiente a la exposición ambiental de 5 ppm)⁸.

Isoflurano: Se ha establecido un valor límite de 6,2 mg/l en orina, correspondiente a un límite ambiental de 2 ppm.

Enflurano: Se ha establecido un valor límite de 5,7 mg/l en orina, correspondiente a un límite ambiental de 2 ppm.

- **Óxido nítrico:** Sus valores límites se pueden analizar en sangre y en orina. En sangre, un valor de 45 ppm en sangre correspondería a un valor ambiental de 100 ppm. También se puede encontrar en orina, correspondiendo las concentraciones de 13 µg/l, 27 µg/l y 55 µg/l en orina a un exposición ambiental de 25 ppm, 50 ppm y 100 ppm respectivamente.

Dado que todas estas sustancias tienen un bajo grado de solubilidad, los indicadores biológicos reflejan una exposición reciente o muy reciente y no pueden proporcionar información sobre exposiciones pasadas.

Control biológico³²

Determinación de óxido de dinitrógeno en orina:

Se toman muestras antes y después de la exposición y se analizan por cromatografía de gases mediante la técnica del espacio de cabeza. Este procedimiento de análisis está descrito en el método propuesto por el INSHT MTA/118(1)/P00.

Determinación de isoflurano en aire exhalado

La captación de isoflurano en aire exhalado se realiza mediante un sistema de muestreo que capta la parte final del aire exhalado, y reteniendo los vapores en un tubo absorbente relleno de Chromosorb 106, el cual posteriormente se analizará mediante desorción térmica y cromatografía de gases.

El método aceptado por el INSHT por el cual se determina el isoflurano en aire exhalado es MTA/MB-021/A92.

9. ANESTÉSICOS INHALATORIOS E IMPACTO AMBIENTAL

El sector salud es una de las industrias que más contribuyen al cambio climático especialmente a través del funcionamiento de los hospitales, los cuales tienen un consumo intensivo de agua, energía eléctrica y combustibles generando grandes cantidades de residuos vertidos y emisiones³⁹.

Además, este sector es uno de los principales consumidores de sustancias químicas, muchas de las cuales tienen efectos nocivos que influyen sobre el medio ambiente. Entre los agentes más empleados en este ámbito se encuentran los anestésicos volátiles, los cuales son generalmente compuestos halogenados que destruyen la capa de ozono y tienen un impacto significativo en el cambio climático⁴⁰.

A diferencia de otros fármacos de uso clínico, los anestésicos inhalatorios son moléculas altamente inertes, lo que resulta en una biotransformación mínima o ausente y, por lo tanto, prácticamente ninguna producción de metabolitos tóxicos. Sin embargo, esta propiedad química única también da como resultado una estabilidad atmosférica excepcional, lo que les convierte en poderosos gases que contribuyen al efecto invernadero⁴¹.

Estos compuestos permanecen un largo tiempo en la tropósfera, la capa más baja de la atmósfera, donde ocurre el efecto invernadero. El sevoflurano permanece durante 1,2 años, el isoflurano durante 3,6 años, el desflurano 10 años y el óxido nitroso puede permanecer hasta 114 años⁴².

Una medida de uso común para cuantificar el efecto que presenta cada gas sobre el calentamiento global se llama potencial de calentamiento global (GWP). El GWP de cada gas se define principalmente por su vida media en la atmósfera y su límite de absorción de radiación específico del espectro.

El índice se calcula sobre un intervalo específico de tiempo, habitualmente de 100 años, y generalmente se toma como referencia el potencial del dióxido de carbono cuyo GWP es de 1. De este modo, si un gas tiene un GWP (100) de 298, significa que 1 Kg de este gas captura la misma cantidad de calor durante un período de 100 años que 298 kg de CO₂⁴³.

Un artículo publicado recientemente en la revista The Lancet en 2019, concluye que los cambios climáticos se están desarrollando de forma más rápida de la esperada, y dados los efectos ambientales derivados del empleo de los anestésicos volátiles, éstos tienen una responsabilidad destacable⁴⁴.

Desflurano:

El desflurano es el anestésico volátil con el GWP 100 más alto(2540) y una vida útil atmosférica de 14 años (Andersen MPS 2012). Algunos autores, demostraron en un informe, la existencia de grandes disparidades en las emisiones entre hospitales, atribuyéndose esta diferencia al uso de desflurano, en comparación con el uso de gases menos nocivos en otros centros⁴⁵.

Sevoflurano:

El sevoflurano es el anestésico inhalatorio más utilizado en las salas quirúrgicas como agente hipnótico.

Se administra en forma de vapor para la inducción y mantenimiento de la anestesia general en cirugía de adultos y niños. La rápida eliminación pulmonar minimiza la cantidad de anestésico susceptible de ser metabolizada. Hasta el 5% de la dosis es metabolizada en el hígado a hexafluoroisopropanol (HFIP) por el citocromo P450, produciendo un fluoruro inorgánico y dióxido de carbono que se conjuga con ácido gúcurónico y se excreta por la orina. El sevoflurano es el único anestésico volátil fluorado que no se metaboliza a ácido trifluoroacético⁴⁶.

Lo restante del gas es arrojado directamente a la atmósfera a través de los sistemas de ventilación de las salas de operaciones, eliminándose como gas médico residual.

El sevoflurano tiene un GWP 100 de 130 y una vida útil atmosférica de 1,1 años (Andersen 2012). Además, dado que con sevoflurano se busca un valor espiratorio final de alrededor del 2% en comparación con el 6% con desflurano, la cantidad real de sustancias químicas emitidas por una hora de anestesia es incluso tres veces mayor con éste último.

Isoflurano:

El isoflurano tiene un GWP100 de 510 y una vida útil atmosférica de 3,2 años⁴⁷. La molécula de isoflurano contiene un átomo de cloro y en consecuencia induce la destrucción del ozono. Por ello, no es recomendable el empleo de este agente⁴⁸.

Óxido nitroso (N₂O):

El óxido nitroso tiene una potencia anestésica muy débil, y por tanto, se suele administrar con otros anestésicos ya que no es lo suficientemente potente como para producir hipnosis por sí solo.

Aunque el uso de N₂O teóricamente permite una reducción del otro anestésico inhalado en uso (efecto de segundo gas), el N₂O en sí tiene un GWP100 de 298 y una vida atmosférica asombrosa de 114 años⁴⁷.

Debido a su vida atmosférica extremadamente larga y los altos volúmenes de consumo, el N₂O se convierte en un gas que contribuye de forma importante al calentamiento global.

Con todo lo anteriormente expuesto, existen diversas estrategias para mitigar los efectos ambientales de los gases anestésicos, entre las que se incluyen el uso restringido de óxido nitroso y desflurano, y evitar las altas tasas de flujo de gas para todos los anestésicos inhalatorios⁴⁹.

Una estrategia de utilidad para minimizar la eliminación de gases anestésicos a la atmósfera consiste en el empleo de bajos flujos, definida como flujo de gas fresco (FGF) de 1L/min empleando un circuito cerrado⁵⁰; ésta estrategia permite la máxima recirculación del gas y reduce la pérdida del anestésico, conservando así la temperatura y humedad en el sistema.

En el ámbito medioambiental se derivan varias ventajas del uso de flujo de gas fresco como son la reducción del volumen consumido de gases anestésicos inhalatorios en un 80-90% respecto al uso de mayores flujos de gas; y la reducción de la cantidad de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera.

Otras medidas a emplear que pueden contribuir a la reducción de las emisiones y con ello el calentamiento global es la anestesia total intravenosa y reducción del consumo de gases durante etapas anestésicas, así como cerrar el vaporizador de gases durante la intubación⁵¹.

10. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS. ETIQUETADO DE SEGURIDAD

El reglamento (CE) 1272/2008 CLP (Clasificación, Etiquetado y Envasado), que modifica al Reglamento (CE) 1907/2006 REACH, representa la adaptación en la UE del SGA (Sistema Globalmente Armonizado, GHS en inglés) que es una regulación aprobada a nivel mundial que va siendo sometida a distintas actualizaciones.

El reglamento CLP⁵² establece un nuevo sistema de identificación del riesgo químico, y un nuevo sistema de clasificación de la peligrosidad de las sustancias químicas, unificándolo a nivel mundial y estableciendo nuevas clases y categorías de peligro.

10.1. Palabras de advertencia

Las palabras de advertencia sustituyen a las anteriores indicaciones de peligro (E,O,F,T,Xn,Xi y C) e indican el nivel de gravedad de los peligros, alertando al lector de la existencia de un peligro potencial.

Estas palabras deben figurar en la etiqueta del producto y pueden ser:

- Peligro: Aparece en las categorías más graves.
- Atención: Aparece en las categorías menos graves.

La palabra de advertencia para sevoflurano, desflurano y óxido nitroso es Peligro.

10.2. Pictogramas

Los pictogramas de peligro son composiciones gráficas que contienen un símbolo negro sobre un fondo blanco, con un marco rojo, y sirven para transmitir la información específica sobre el peligro en cuestión.

Cada pictograma deberá cubrir al menos una quinceava parte de la superficie de la etiqueta armonizada y la superficie mínima en ningún caso será menor de 1 cm².

10.3. Indicaciones de peligro y consejos de prudencia

Las indicaciones de peligro son frases que, asignadas a una clase o categoría de peligro, describen la naturaleza de los peligros de una sustancia o mezcla peligrosa, incluyendo el grado de peligro. Las indicaciones de peligro (anteriores frases R), llamadas H (de Hazard, peligro), se agrupan según peligros físicos, peligros para la salud humana, y peligros para el medio ambiente.

Si las clases de peligro a indicar son varias, en la etiqueta figurarán todas las indicaciones de peligro resultantes de la clasificación, salvo en caso de duplicación o solapamiento evidentes.

Los consejos de prudencia (P), sustituyen a las antiguas frases S.

Actualmente, se disponen de fichas de peligro para sevoflurano, desflurano y óxido nitroso, en el que se incluyen estas clasificaciones (Anexo I).

11. PROPUESTA DE UN PLAN DE PREVENCIÓN

Para la elaboración de un plan de prevención, en primer lugar son necesarias una serie de actuaciones previas para conocer la problemática de la situación del tema que abordamos. Ejemplos de estas actuaciones son la evaluación de riesgos o la realización de un inventario de los diferentes lugares donde se utilizan los gases anestésicos, para recoger la máxima información disponible sobre: tipo de gas, técnicas de administración, equipos, procedimientos...

Asimismo, una vez implantado un plan de actuación preventiva, sería recomendable una revisión periódica así como un análisis de los resultados obtenidos para realizar posteriores mejoras o adaptaciones.

Por ello, previo a la implantación de unas medidas de control realizaríamos dos fases previas: primera fase de recolección de datos y una segunda fase de valoración de la exposición.

En la primera fase los aspectos a recoger en el tema que estamos abordando es: agentes anestésicos utilizados, datos técnicos del local (tamaño, tipo de ventilación, caudal de ventilación y número de renovaciones, equipos utilizados (características, sistemas de evacuación de gases, y formas de administraciones), personal expuesto y características especiales identificadas en las revisiones de salud).

La segunda fase consiste en una valoración de la exposición.

Ejemplos de ello son la valoración de la ventilación en el lugar de trabajo según los requisitos establecidos de la zona, o el tipo de anestésicos empleados para realizar la anestesia general (empleo de N₂O o gases halogenados con circuito de reinstalación, empleo de bajos flujos y/o evacuación de gases anestésicos residuales del sistema). En el caso de emplear anestésicos inhalatorios, se llevará acabo un plan de medición para determinar la concentración ambiental de agentes anestésicos en la zona de trabajo con el fin de evaluar la concentración ambiental y la exposición laboral del trabajador.

Una vez analizados estos aspectos, se procederá a la tercera fase, la cual consiste en elaboración de un plan de acción, cuyos objetivos principales serán: realización de buenas prácticas en anestesia (seleccionando el agente anestésico adecuado); prácticas orientadas a minimizar la contaminación, como el uso de equipos de aspiración, dispositivos de evacuación de gases residuales y el mantenimiento del sistema de ventilación; formación e información a todo el personal expuesto; vigilancia de la salud.

Por lo tanto, una vez analizadas las fases 1 y 2 se procede a la elaboración del plan de acción.

Las acciones preventivas básicas en esta tercera fase son las siguientes:

- Actuaciones sobre el foco emisor

Las estaciones de anestesia siempre deben disponer del marcado CE. Estas máquinas de anestesia deben estar en buen estado y tienen que disponer de sistemas eficaces de evacuación de gases exhalados y control automático de fugas.

Todos los aparatos antiguos de anestesia que por su tecnología o diseño no den las garantías adecuadas para un buen control ocupacional de los gases anestésicos deben ser retirados de inmediato ya que pueden suponer un potencial riesgo para los trabajadores.

De producirse alguna intervención con eliminación de gases al exterior se debe utilizar un aparato de extracción cerca del foco de emisión.

El Director del Hospital o de la empresa donde se encuentre el aparátame de anestesia y ser comprobado por el equipo de Prevención de Riesgos Laborales será el responsable de que las máquinas de anestesia sigan la normativa vigente y marcado CE.

- Actuaciones sobre el medio de propagación

Se debe garantizar una adecuada evacuación de los gases anestésicos residuales en salas de cirugía. Un sistema efectivo de evacuación de gases anestésicos atrapa los gases residuales del sistema de respiración del paciente en los sitios donde se presenta un exceso de flujo de éstos y realiza la disposición de estos gases hacia la atmósfera. La tasa de ventilación de la mascarilla del paciente debe mantenerse a un caudal de 45 L/min, ajustado con un elemento calibrador de flujo y vaciarse al exterior, nunca al interior de la sala de cirugía. Si durante el muestreo se encontraran concentraciones excesivas de gases anestésicos se debe incrementar el flujo de aire limpio externo en la sala de cirugía para permitir una mayor mezcla del aire y con ello la dilución de éstos gases.

Existen diferentes normativas y recomendaciones. La OSHA, La Instrucción Técnica Complementaria para baja tensión ITC-BT-38. <<Instalaciones con fines especiales. Requisitos particulares para la instalación eléctrica en quirófanos y salas de intervención>> del Reglamento Electrotécnico para baja tensión aprobado por el Real Decreto 842/2002 y La norma UNE 100713:2005⁴³ hacen las siguientes recomendaciones para los lugares en los que se usan gases anestésicos:

- 15 renovaciones por hora con un mínimo de 3 cambios de aire exterior por hora para la ventilación de los quirófanos. Esto también supone una medida contra el riesgo de incendio o explosión.
- 6 renovaciones por hora con un mínimo de 2 cambios de aire exterior por hora en las zonas de reanimación.
- No debe recircular nunca aire del quirófano por otras zonas del hospital.
- El caudal mínimo de aire procedente del exterior debe ser 1200 m³/h.

Los requisitos en otras áreas hospitalarias se recogen en la NTP (Notas Técnicas de Prevención) nº 859, "Ventilación general en hospitales".

Las actuaciones sobre el medio de propagación deben ser coordinadas y revisadas por Técnicos Superiores en Prevención en Riesgos Laborales. Deberán ser supervisadas por el Jefe de Sección del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales.

- Medidas organizativas. Procedimientos de trabajo

Las prácticas de trabajo incluyen la forma en las que se realiza las actividades del trabajo.

Unas buenas prácticas de trabajo, con el total conocimiento de donde pueden estar los fallos que produzcan un escape de gases anestésicos, son de vital importancia para poder reducir al máximo las concentraciones de gases anestésicos a las que están expuestos los trabajadores.

Para que se cumplan estas buenas prácticas de trabajo las máquinas de anestesia solo deben ser utilizadas por personal formado para ello, los cuales están concienciados para adoptar códigos de buenas prácticas que eviten la contaminación ambiental.

Por lo anteriormente expuesto, la máquina de anestesia la revisará el médico anestesiólogo y realizará:

Chequeo completo de las máquinas de anestesia cada día antes de la primera cirugía, que debe incluir:

- Revisión de las conexiones de la máquina de anestesia. Comprobar que estas están íntegras y que el sistema de evacuación funciona correctamente.
- Comprobar que está conectado el sistema de extracción de gases residuales a la salida de los mismos y a la toma de vacío.
- En el caso de que sea necesario por presentar poco agente anestésico, debe llenar el vaporizador antes o después de la intervención quirúrgica cuando la máquina de anestesia está parada e intentar hacerlo siempre con la sala bien ventilada y usando guantes. Se debe evitar el vertido de gases anestésicos líquidos durante el llenado del vaporizador para lo cual se puede usar un instrumento especial que encaje correctamente con el vaporizador. En el caso de que ocurra un derrame de agentes anestésicos este debe ser limpiado inmediatamente.
- No se debe poner en marcha el suministro de gases anestésicos inhalatorios hasta que no esté conectado el paciente al circuito. Una vez que tenemos la vía aérea del paciente aislada por un dispositivo de ventilación conectamos este antes siempre de

abrir los vaporizadores de agentes anestésicos, evitando que estos lleguen al ambiente de quirófano.

- De ser posible, se deben usar flujos bajos o mínimos (1-0,5 L/min) para usar la menor cantidad posible de gases anestésicos.
- Siempre se debe asegurar un buen ajuste de la mascarilla facial si usamos agentes anestésicos con ella.
- Utilizar siempre que sea posible como primera opción tubos endotraqueales con manguito. Los tubos endotraqueales con manguito son los que mejor aíslan la vía aérea del paciente frente la mascarilla laríngea, mascarilla facial o tubo endotraqueal sin manguito. Si por las características del paciente o la intervención se decide utilizar alguno de estos últimos dispositivos deberíamos plantearnos utilizar técnica anestésica intravenosa. Se debe garantizar el correcto ajuste del dispositivo que una la vía aérea del paciente con la máquina de anestesia. Debido a ello podemos encontrar diferentes formas y tamaños de los diferentes materiales, lo cual nos permite minimizar las fugas.
- Si no se puede utilizar el sistema de extracción de la estación de anestesia, como puede ser en el caso de intervenciones en pediátrica, neonatos u otorrinolaringología, existen algunos sistemas alternativos de aspiración como por ejemplo las mascarillas de doble capa.
- Debe cortar el suministro de gas anestésico y vaciar la bolsa reservorio antes de la aspiración o la intubación, siempre que sea posible.
- Tiene que eliminar los gases anestésicos residuales del sistema de evacuación de gases antes de desconectar al paciente de la estación de anestesia. Para ello podemos aumentar el flujo de gas fresco libre de agente anestésico que llega al paciente, administrando además oxígeno el mayor tiempo posible al final de la anestesia y antes de la extubación o retirada de la máscara. Esto se realiza para evitar que una vez extubado el paciente siga exhalando gases anestésicos al ambiente.
- Antes de terminar la intervención se debe cerrar el aporte de gases anestésicos inhalatorios de la estación y la válvula de la conexión a la red de suministro de N₂O. Se debe comprobar siempre al final de la jornada laboral que los aportes de gases anestésicos estén correctamente cerrados.
- El anestesista podrá decidir según su criterio y las características del paciente y la intervención si sería más beneficioso utilizar anestesia intravenosa.

- Se deben utilizar sistemas cerrados en la máquina de anestesia, nunca sistemas abiertos ya que estos liberan todos los gases espirados por el paciente al ambiente de quirófano.

- Medidas organizativas. Mantenimiento preventivo y valoración de la exposición ambiental.

El control preventivo deben incluir las revisiones periódicas de los respiradores en las que se verifique que no haya emisión de gases al ambiente de quirófano, comprobando el buen estado de la máquina de anestesia, cambiando periódicamente los filtros, buscando fugas de gases disponiendo de detectores para ello y verificando las válvulas de seguridad.

Si se sospechara que hay una fuga de gas anestésico se debería realizar una evaluación ambiental para comprobar si realmente existe esta fuga y actuar en consecuencia para no sobrepasar los valores límites de exposición profesional a gases anestésicos.

Estos procedimientos deben realizarse por los técnicos de muestreo. Deberán ser supervisadas por el Jefe de Sección del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales.

- Actuaciones sobre el individuo. Protección individual.

Para que los trabajadores puedan realizar una buenas prácticas de trabajo deben estar informados de todos los riesgos que pueden tener los agentes anestésicos y de las medidas que se pueden adoptar para disminuir o eliminar dichos riesgos. De esta manera los propios trabajadores están en condiciones de asegurar que se toman las medidas adecuadas.

El servicio de Prevención de Riesgos Laborales debe realizar la actividad formativa y garantizar que todos los trabajadores la reciban. Deben realizar un programa de información y entrenamiento para los trabajadores en el cual se incluyan las prácticas de trabajo apropiadas para reducir la exposición del personal de quirófano a gases anestésicos.

Este programa de información se debe hacer de forma periódica incluyendo siempre las últimas actualizaciones. Estos procedimientos deben realizarse por los Técnicos Superiores de Prevención de Riesgos Laborales. Deberán ser supervisadas por el Jefe de Sección del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales.

- Actuaciones sobre el individuo. Protección individual.

No se considera necesario el uso de equipos de protección individual (EPIS) en condiciones de trabajo normales. En el caso de ser necesario utilizarlos, este tipo de protección individual incluiría la protección de la vía respiratoria con filtro químico para vapores orgánicos y se debería usar en caso de un escape considerable o mal funcionamiento de algunos de los sistemas de control, pero su uso siempre debe ser provisional. Hay que tener en cuenta que si los gases tienen un punto de ebullición inferior a 65 °C se deben usar filtros tipo AX.

Siempre que se van a manipular agentes anestésicos inhalados, como puede ser en el caso del llenado de los vaporizadores, se deben usar guantes. Del mismo modo debemos usar guantes si tenemos que limpiar el derrame de estos agentes.

Todos los EPIS deben disponer de marcado CE.

- Actuaciones sobre el individuo. Vigilancia de la salud.

Todo trabajador potencialmente expuesto a gases anestésicos debe ser sometido a reconocimientos médicos específicos de forma periódica, implementando un Sistema de Vigilancia Epidemiológica. Se debe tener en cuenta realizar un protocolo específico de valoración de riesgo en el embarazo.

Los trabajadores expuestos a AAI deberán someterse a un reconocimiento inicial, y a un reconocimiento médico periódico orientado a la valoración de su estado de salud y su aptitud para el trabajo desarrollado, así como a la detección precoz de posibles alteraciones relacionadas con la exposición a dichos agentes, sin perjuicio de la posibilidad de realizar los otros reconocimientos. Estas revisiones debe hacerlas el médico especialista en Medicina del Trabajo.

Todos los datos que se deberían recoger los siguientes:

1. Historia laboral.

-Historia de exposición:

- a. Año de inicio de exposición a agentes anestésicos inhalatorios.
- b. Sustancias a las que ha estado expuesto.
- c. Tiempo total de exposición a agentes anestésicos en años o meses.

-Exposición actual.

a. Fecha de inicio del trabajo actual.

b. Gases anestésicos a los que se encuentra expuesto.

c. Exposición simultánea a otros agentes con posible toxicidad genética, neurológica, hepático-renal, reproductiva.

e. Presencia de sistemas de extracción/ventilación en su área de trabajo.

2. Historia clínica.

-Antecedentes personales y familiares.

-Anamnesis por aparatos:

a. Clínica neurológica.

b. Alteraciones visuales.

c. Síntomas de enfermedad hepática o renal.

d. Infertilidad o esterilidad; embarazos; abortos espontáneos y malformaciones en la descendencia.

3. Control biológico y estudios complementarios específicos.

Estos estudios se realizarán en función de los resultados obtenidos en la historia clínica y anamnesis.

-En sangre:

Determinaciones hematológicas:

• Recuento de hematíes

• Hematocrito

• Hemoglobina

• Índices eritrocitarios

• Recuento leucocitario

-En suero.

Determinaciones químicas:

• Bilirrubina

• Creatinina.

Determinaciones enzimáticas:

• Alanina transferasa (ALT o GPT)

• Aspartato transferasa (AST o GOT)

- G-Glutamiltranspeptidasa (GGT).

4. Criterios de valoración.

En caso de que se sobrepasen los límites de referencia de los parámetros analíticos previamente descritos, se valorará la derivación a especialistas médicos. Actualmente, podría considerarse no apto temporal a aquellos trabajadores que presentan déficit de vitamina B12 o de ácido fólico sometido protóxido de nitrógeno, suprimiendo la exposición al mismo hasta la recuperación de los parámetros analíticos.

En la actualidad, no existen recomendaciones estrictas de realización de revisiones periódicas a personal sanitario expuesto a agentes anestésicos inhalatorios. Sin embargo, se recomienda que el período entre dos reconocimientos no debe ser superior a tres años. Durante el espacio comprendido entre dos exámenes, pueden ser de utilidad algunas herramientas en personal con elevada exposición, como son:

- Hojas de cuestionarios de síntomas realizadas de forma periódica.
- Consultas de salud espontáneas de los trabajadores potencialmente expuestos.

La documentación clínica correspondiente a los trabajadores expuestos a AAI se conservará durante al menos diez años tras la última exposición a dichos agentes.

En el caso de la existencia de alguna afectación clínica derivada de la exposición laboral, las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención de riesgos laborales, serán informados de la situación del trabajador, con el objetivo de introducir o mejorar las medidas de protección y prevención.

En el caso específico de la trabajadora embarazada, debido a que no está demostrado de forma significativa que los AAI produzcan aborto espontáneo o malformaciones congénitas, no se deberían realizar exámenes o pruebas adicionales a las habituales si se siguen las medidas de control y uso seguro de gases anestésicos. Sin embargo, los documentos sugieren que sigue siendo prudente recomendar medidas de control que reduzcan al mínimo la exposición ocupacional y, en el caso de que estas medidas no se puedan implementar y/o no se pueda garantizar niveles ambientales en las áreas de trabajo por debajo de los valores

límites aconsejados, las mujeres gestantes o con deseo de gestación deberían evitar la exposición a este tipo de agentes anestésicos.

- Primeros auxilios:

En caso de producirse derrames de agentes anestésicos inhalados estos deben eliminarse inmediatamente y confinar el material que ha absorbido el agente ya que al vaporizarse puede pasar al ambiente de trabajo.

En caso de inhalación y manifestación de síntomas como somnolencia, vértigo, mareo, etc, se debe trasladar al trabajador a una zona con aire limpio, mantener en reposo y proporcionar asistencia médica.

Si hay contacto con la piel o con los ojos se debe aclarar con agua abundante. En el caso de los ojos se debe aclarar durante varios minutos y quitar lentes de contacto si los trabajadores son portadores y se puede hacer con facilidad.

En todos estos casos hay que proporcionar asistencia médica inmediata para la correcta evaluación y tratamiento, de ser necesario, del trabajador.

Por último, se llevará a cabo una cuarta fase o de verificación de controles, que consiste en la evaluación del plan de acción y seguimiento. Ésta fase consiste en revisar periódicamente la correcta aplicación del plan de acción en función de los objetivos fijados y los indicadores establecidos.

En el caso de decisión de modificación de alguna medida de control se deberán evaluar las nuevas condiciones de trabajo, para determinar variaciones en las concentraciones de gases anestésicos, en relación con las existentes antes de la implementación de los nuevos métodos de control.

Esta verificación debe llevarse a cabo por los Técnicos Superiores de Prevención de Riesgos Laborales y debe ser supervisada por el Jefe de Sección.

12. CONCLUSIONES

El riesgo derivado de la exposición ocupacional a los agentes anestésicos inhalados para los profesionales sanitarios sigue siendo motivo de preocupación en el ámbito de la prevención de riesgos laborales, y la preocupación relacionada con la exposición a largo plazo es constante y justifica una mayor participación regulatoria.

Los límites de exposición recomendados a los diferentes anestésicos inhalados difieren ampliamente entre países, y actualmente no existe una guía global específica sobre el tema. Los datos disponibles sobre la exposición ocupacional a anestésicos inhalados todavía son controvertidos, pero no se pueden excluir los posibles efectos genotóxicos y carcinogénicos. Además, es necesario aumentar la concienciación de los trabajadores de la salud sobre los riesgos laborales, fomentar la reducción del uso de anestésicos inhalados e invertir en sistemas de ventilación y evacuación adecuados para lograr un entorno de trabajo seguro.

El cambio climático se considera la mayor amenaza para la salud pública en este siglo por lo que debe minimizarse el impacto negativo de los anestésicos inhalados en el medio ambiente. Se pueden resumir brevemente diferentes enfoques para reducir las emisiones por parte de los anesestesiólogos: detener o evitar el empleo de protóxido de nitrógeno y desflurano, considerar el uso de anestesia intravenosa o loco-regional e invertir en el desarrollo de nuevas tecnologías en sistemas de depuración.

Dado que la sustitución del desflurano por sevoflurano ya elimina el 96% del efecto invernadero, es esencial que cuando se prefiere un anestésico volátil, se debe fomentar la eliminación de uso de desflurano y protóxido de nitrógeno más que la conversión a TIVA, pues es más fácil de lograr.

Por otra parte, es importante enfatizar la falta de educación adecuada sobre los impactos ambientales y los riesgos ocupacionales derivados del empleo de anestésicos inhalados. En conjunto, se debe prestar especial atención a la formación educativa en anestesia como una oportunidad para realizar la práctica de la anestesia desde todas las perspectivas.

La elaboración de un plan de prevención puede ser de gran utilidad para la identificación del personal en riesgo e implantación de medidas preventivas para disminuir y/o evitar los riesgos derivados de la exposición ocupacional a los AAI.

13. ANEXOS

ANEXO I. Etiquetado de seguridad conforme al Reglamento CLP de los gases anestésicos inhalatorios más frecuentemente empleados: Sevoflurano, Desflurano y Óxido nitroso.

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1. Identificador del producto

Forma del producto	: Sustancia
Nombre de la sustancia	: Sevoflurane
Código de producto	: 201600820
Sinónimos	: Sevoflurane, salts, hydrates, isomers and impurities where applicable
Otros medios de identificación	: Ph.Eur. 2269

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

1.2.1. Usos pertinentes identificados

Categoría de uso principal	: El producto es para investigación, análisis y formación científica.
Uso de la sustancia/mezcla	: Reservado a un uso profesional
Función o categoría de uso	: Productos químicos de laboratorio

1.2.2. Usos desaconsejados

Restricciones de utilización	: No utilizar: Ingestión, Inhalación, Cutáneo
------------------------------	---

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

European Directorate for the Quality of Medicines & Healthcare
EDQM, Council of Europe
7, Allée Kastner, CS30026
67081 Strasbourg - France
T +33(0)388412035 - F +33(0)388412771
sds@edqm.eu - www.edqm.eu

1.4. Teléfono de emergencia

Número de emergencia	: +33(0)390215608
----------------------	-------------------

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]

Toxicidad aguda (oral), categoría 4	H302
Toxicidad aguda (por inhalación), categoría 2	H330
Toxicidad específica de órganos diana - Exposición única, categoría 3, Narcosis	H336
Texto completo de las frases H: véase la Sección 16	

Efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y el medio ambiente

Determinación por juicio experto y peso de la evidencia.

2.2. Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) N° 1272/2008 [CLP]

Pictogramas de peligro (CLP)



GHS06

Palabra de advertencia (CLP)	: Peligro
Indicaciones de peligro (CLP)	: H302 - Nocivo en caso de ingestión. H330 - Mortal en caso de inhalación. H336 - Puede provocar somnolencia o vértigo.
Consejos de prudencia (CLP)	: P260 - No respirar el polvo/el humo/el gas/la niebla/los vapores/el aerosol. P284 - [En caso de ventilación insuficiente.] llevar equipo de protección respiratoria P304+P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. P310 - Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico P301+P312 - EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico si la persona se encuentra mal.

SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1. Identificador del producto

Forma del producto	: Sustancia
Nombre de la sustancia	: Desflurane
Código de producto	: 201600259
Sinónimos	: Desflurane, salts, hydrates, isomers and impurities where applicable
Otros medios de identificación	: Ph.Eur. 1666

1.2. Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

1.2.1. Usos pertinentes identificados

Categoría de uso principal	: El producto es para investigación, análisis y formación científica.
Uso de la sustancia/mezcla	: Reservado a un uso profesional
Función o categoría de uso	: Productos químicos de laboratorio

1.2.2. Usos desaconsejados

Restricciones de utilización	: No utilizar: Ingestión, Inhalación, Cutáneo
------------------------------	---

1.3. Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

European Directorate for the Quality of Medicines & Healthcare
EDQM, Council of Europe
7, Allée Kastner, CS30026
67081 Strasbourg - France
T +33(0)388412035 - F +33(0)388412771
sds@edqm.eu - www.edqm.eu

1.4. Teléfono de emergencia

Número de emergencia	: +33(0)390215608
----------------------	-------------------

SECCIÓN 2: Identificación de los peligros

2.1. Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según reglamento (UE) No. 1272/2008 [CLP]

Toxicidad aguda (oral), categoría 4	H302
Toxicidad aguda (por inhalación), categoría 2	H330
Toxicidad específica de órganos diana - Exposición única, categoría 3, Narcosis	H336

Texto completo de las frases H: véase la Sección 16

Efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y el medio ambiente

Determinación por juicio experto y peso de la evidencia.

2.2. Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) N° 1272/2008 [CLP]

Pictogramas de peligro (CLP) :



GHS06

Palabra de advertencia (CLP)	: Peligro
Indicaciones de peligro (CLP)	: H302 - Nocivo en caso de ingestión. H330 - Mortal en caso de inhalación. H336 - Puede provocar somnolencia o vértigo.
Consejos de prudencia (CLP)	: P260 - No respirar los vapores. P284 - [En caso de ventilación insuficiente,] llevar equipo de protección respiratoria P304+P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. P310 - Llamar inmediatamente a un médico. P301+P312 - EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar a un médico si la persona se encuentra mal.



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Óxido nitroso

Fecha de asunto: 16.01.2013
 Fecha de revisión: 10.06.2020

Versión: 3.3

No. FDS: 000010021720
 2/61

Gases comburentes	Categoría 1	H270: Puede provocar o agravar un incendio; comburente.
Gases a presión	Gas líquido	H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
Peligros para la Salud Toxicidad Sistémica Específica de Órganos Diana- Exposición Única	Categoría 3	H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.

2.2 Elementos de la Etiqueta

Contiene: óxido de dinitrogeno



Palabra de Advertencia: Peligro

Indicación(es) de peligro: H270: Puede provocar o agravar un incendio; comburente.
 H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
 H336: Puede provocar somnolencia o vértigo.

Consejos de Prudencia General Ninguno.

Prevención: P220: Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles.
 P244: Mantener las valvulas y los racores libres de aceite y grasa.
 P260: No respirar el gas/los vapores.

Respuesta: P304+P340+P315: EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración. Consultar a un médico inmediatamente.
 P370+P376: En caso de incendio: Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo.

Almacenamiento: P403: Almacenar en un lugar bien ventilado.

Eliminación Ninguno.

ANEXO II. Esquema de un plan de gestión preventiva

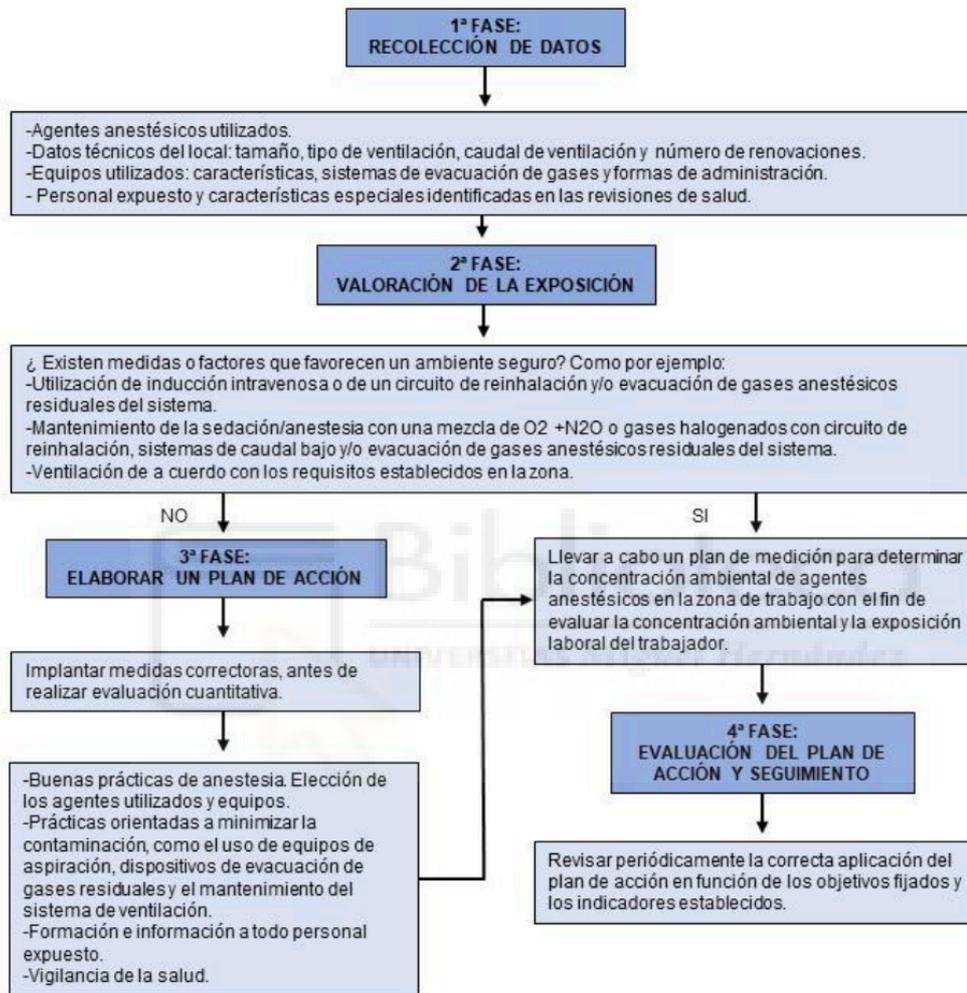


Figura 1. Esquema de plan de gestión.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. Cortés Díaz JM. Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad e higiene en el trabajo. 11º Edición. Madrid: Editorial Tébar.2018.
2. Mansilla MM. Nivel de riesgos laborales a los que se encuentran expuestos los enfermos. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias médicas; 2012. Disponible en: http://www.enfermeria.fcm.unc.edu.ar/biblioteca/tesis/mansilla_maria_m.pdf.
3. Borges Romero A. Personal de enfermería: condiciones de trabajo de alto riesgo. Notas y reflexiones.1998;6(2):113-119.
4. Caetano JA, Soares E, Baquehais AR, Roli Rolim KAC. Accidentes de trabajo con material biológico en el cotidiano de enfermería en unidad de alta complejidad. Enfermeria global. 2016; 5(2): 1-12. Disponible en: <http://revistas.um.es/eglobal/article/view/371/339>.
5. Hernández Calleja, A. Guardino Solá, X. Gases anestésicos. En: Condiciones de trabajo en centros sanitarios. Barcelona: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2000; 49-60.
6. Autoría múltiple*. “Agentes químicos en el ámbito sanitario”. Escuela Nacional de Medicina del Trabajo (ENMT). Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid. 2010. Pascual del Río, Jorge. Coordinador.*Autoría múltiple: Arana Belloso, Daniel. Blanco Guerra, Carlos. Caldés Casas, Alberto. Gallego Piñol, Eva. Gómez Pérez, Francisco Javier. Martín Lancharro, Pablo. Méndez Liz, María José. Mendoza Rodríguez, Ángeles. Orriols Ramos, Rosa María. Pascual del Río, Jorge. Quirce Gancedo, Santiago. Rosell Farrás, María Gracia. Sada Muruzábal, Álvaro. Torrado Rey, Susana.
7. Viciola Garcia, M. Protocolo sanitario de vigilancia médica de los trabajadores expuestos a agentes anestésicos inhalatorios. En: Eguileor Gurtubai I (d.). Salud laboral: Protocolos sanitarios específicos de vigilancia médica de los trabajadores (IV). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz, 1993: 107-147.

8. Ginesta Galán V., Gestal Otero JJ. Gases anestésicos. En: Gestal Otero JJ. Riesgos del trabajo del personal sanitario. Interamericana-McGraw Hill. Madrid, 1993.
9. Puig MM. Anestésicos inhalatorios: lugar y mecanismos de acción. Rev. Esp. Anestesiología y Reanimación. 1991; 5:341-346.
10. Stachnik J. Inhaled anesthetic agents. Am. J. Health. Syst. Pharm. 2006; 63(7):623-634
11. Guardino Solá X, Rosell Farrás MG: NTP 606: Exposición laboral a gases anestésicos. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. Barcelona, Spain: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001. Available at: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NT/P/Ficheros/601a700/ntp_606.pdf.
12. Protocolos de vigilancia sanitaria específica. Agentes anestésicos inhalatorios. Disponible en: <https://www.msbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/anestresicos.pdf>.
13. Knill-Jones RP, Rodrigues LV, Moir DD, Spence AA. Anaesthetic practice and pregnancy. Controlled survey of women anaesthetists in the United Kingdom. Lancet, 1972; 1 (7764):1326-8.
14. Fichas internacionales de seguridad química. [acceso 24 de octubre de 2007] Disponibles en www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspneics.htm.
15. Barker JP, Abdelati MO. Anaesthetic pollution: potential sources, their identification and control. Anaesthesia 1997;52:1077-83.
16. Thoustrup Saber A, Sorig Hougaard K. 141. Isoflurane, sevoflurane and desflurane. The Nordic Expert Group for Criteria Documentation of Health Risks from Chemicals. NR 2009;43(9). ISBN 978-91-85971-16-9.
17. Perbet S, Salavert M, Amarger S, Constantin JM, D'Incan M, Bazin JE. Fluoroderma after exposure to sevoflurane. Br J Anaesth. 2011;107(1):106-7.
18. Braz MG, Souza KM, Lucio LMC, Di Renzo GCC, Feliciano LM, Marcondes JPC et al. Detrimental effects detected in exfoliated buccal cells from anesthesiology medical residents occupationally exposed to inhalation anesthetics: An

- observational study. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen*. 2019;832-822:61-64.
19. Schifilliti D, Mondello S, D'Arrigo MG, Chillè G, Fodale V. Genotoxic effects of anesthetic agents: an update. *Expert Opin Drug Saf*. 2011;10:891–899.
 20. Musak L, Smerhovsky Z, Halasova E, Osina O, Letkova L, Vodickova L et al. Chromosomal damage among medical staff occupationally exposed to volatile anesthetics, antineoplastic drugs, and formaldehyde. *Scand J Work Environ Health*. 2013;39(6):618-30.
 21. Boivin JF. Risk of spontaneous abortion in women occupationally exposed to anaesthetic gases: a meta-analysis. *Occup Environ Med*. 1997;54(8):541-8.
 22. Rowland AS, Baird DD, Shore DL, Weinberg CR, Savitz DA, Wilcox AJ. Nitrous oxide and spontaneous abortion in female dental assistants. *Am J Epidemiol*. 1995;141-531-8.
 23. Lawson CC, Rocheleau CM, Whelan EA et al. Occupational exposures among nurses and risk of spontaneous abortion. *Am J Obstet Gynecol*. 2012;206:327.
 24. Boivin JF. Risk of spontaneous abortion in women occupationally exposed to anaesthetic gases: a meta-analysis. *Occup Environ Med*. 1997;54(8):541-8.
 25. Burches E, Revert A, Martin J, Iturralde A. Occupational systemic allergic dermatitis caused by Sevoflurane. *Contact Dermatitis*. 2015;71(1):62-3.
 26. Jafari A, Jafari F, Mohebbi I. Effects of occupational exposure to trace levels of halogenated anesthetics on the liver, kidney, and oxidative stress parameters in operation room personnel. *Toxin Rev*. 2018:1-10.
 27. Turillazzi E, D'Errico S, Neri M, Riezzo I, Finisci V. A fatal case of fulminant hepatic necrosis following sevoflurane anesthesia. *Toxic Pathol*. 2007;35:840-5.
 28. Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España. 2021. Disponible en: <https://www.insst.es/el-instituto-al-dia/limites-exposicion-profesional-agentes-quimicos>.
 29. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31>.

30. Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/01/17/39/con>.
31. Real decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/04/06/374>.
32. Molina Aragonés JM, Ayora Ayora A, Barbara Ribalta A, Gascó Parici A, Medina Lavela JA, Sol Vidiella J et al. Occupational exposure to volatile anaesthetics: A systematic review. *Occup Med.* 2016; 66(3):202-7.
33. Arbejdstilsynet og Videncenter for Arbejdsmiljø. Bilag Bekendtgørelse - Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 655- 31. maj 2018 Arbejdstilsynet. Grænseværdier for stoffer og materialer. Bilag 2: Grænseværdier for luftforureninger m.v. Available at: <https://amid.dk/regler/bekendtgørelser/grænsevaerdier-stoffer-materialer-655/bilag-2/>.
34. Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære 2009. Veiledning til arbeidsmiljøloven. Oslo: Arbeidstilsynet, 2009. Available at: http://www.vestteknikk.no/vestteknikk/public/getAttachment?ATTACHMENT_ID=1348&TYPE=ARTICLE&ID=1340.
35. Hygieniska gränsvärden. Arbetsmiljöverkets författningssamling. Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden, AFS 2018:1. Stockholm: Arbetsmiljöverket, 2018. Available at: <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/hygieniska-gransvarden-afs-2018-1.pdf>.
36. Fernández-Gines D, Selva-Sevilla C, Cortiñas-Sáenz M, Gerónimo Pardo M. Occupational exposure to sevoflurane following tropical Application to painful rounds. *Mes Lav.* 2019;110(5):363-371.
37. Sanabria-Carretero P, Rodríguez-Pérez E, Jiménez-Mateos E, Palomero-Rodríguez MA, Goldman-Tarlousky L, Gilsanz-Rodríguez F, et al. Exposición laboral al óxido nitroso y sevoflurano durante la anestesia en pediatría:

- evaluación de un dispositivo de extracción de gases anestésicos. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 2006;53:618---25.
38. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Determinación de isoflurano en aire-Método de captación con muestreadores pasivos por difusión, desorción térmica/cromatografía de gases; 1995. Método MTA/MA-027/A95.
39. Bambarén C, Melind Chú. Environmental impact of the inhaled anesthetic gas Sevoflurane used in a public hospital in Perú. *Rev Med Hered.* 2018;29:147-151.
40. Salud sin daño. Un marco integral de salud ambiental para los hospitales y los sistemas de salud de todo el mundo. Buenos Aires: Salud sin daño; 2011.
41. Gadani H, Vyas A. Anesthetic gases and global warming: Potentials, prevention and future of anesthesia. *Anesth Essays Res.* 2011;5(1):5-10.
42. Ryan SM, Nielsen CJ. Global warming potential of inhaled anesthetics: application to clinical use. *Anesth Analg.* 2010 Jul;111(1):92-8. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e3181e058d7>.
43. Gaya da Costa M, Kalmar AF, Struys MMRF. Inhaled Anesthetics: Environmental Role, Occupational Risk, and Clinical Use. *J Clin Med.* 2021 Mar 22;10(6):1306. <https://doi.org/10.3390/jcm10061306>.
44. Watts, N.; Amann, M.; Arnell, N.; Ayeb-Karlsson, S.; Belesova, K.; Boykoff, M.; Byass, P.; Cai, W.; Campbell-Lendrum, D.; Capstick, S.; et al. The 2019 report of The Lancet Countdown on health and climate change: Ensuring that the health of a child born today is not defined by a changing climate. *Lancet* 2019, 394, 1836–1878.
45. MacNeill, A.J.; Lillywhite, R.; Brown, C.J. The impact of surgery on global climate: A carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet. Health* 2017, 1, e360–e367. [https://doi.org/10.1016/s2542-5196\(17\)30162-6](https://doi.org/10.1016/s2542-5196(17)30162-6). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Waste Halogenated Anesthetic Agents: Isoflurane, Desflurane and Sevoflurane. Notice 71 FR 8859; Request for information; 2/21/06. Available at:

<https://www.cdc.gov/niosh/docket/archive/pdfs/niosh-064/0064-022106-FRNotice.pdf>.

46. Causes|Facts—Climate Change: Vital Signs of the Planet. Available online: <https://climate.nasa.gov/causes/> (accessed on 26 November 2019).
47. Andersen, M.P.S.; Nielsen, O.J.; Wallington, T.J.; Karpichev, B.; Sander, S.P. Assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. *Anesth. Analg.* 2012, 114, 1081–1085.
48. Vollmer, M.K.; Rhee, T.S.; Rigby, M.; Hofstetter, D.; Hill, M.; Schoenenberger, F.; Reimann, S. Modern inhalation anesthetics: Potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophys. Res. Lett.* 2015, 42, 1606–1611.
49. Meyer MJ. Desflurane Should Des-appear: Global and Financial Rationale. *Anesth Analg.* 2020 Oct;131(4):1317-1322. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e3181e058d7>.
50. Nunn, G. Low-flow anaesthesia. *Contin. Educ. Anaesth. Crit. Care Pain* 2008, 8, 1–4.
51. Chung, J.W.; Meltzer, D.O. Estimate of the carbon footprint of the US health care sector. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* 2009, 302, 1970–1972. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.1610>.
52. Guardino Solá X. NTP 878: Regulación UE sobre productos químicos (II). Reglamento CLP: aspectos básicos. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. Barcelona, Spain: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001. Available at: <https://www.insst.es/documents/94886/328681/878w.pdf/7dbc6e10-0052-463e-a04a-5fa4e5d2b580>.