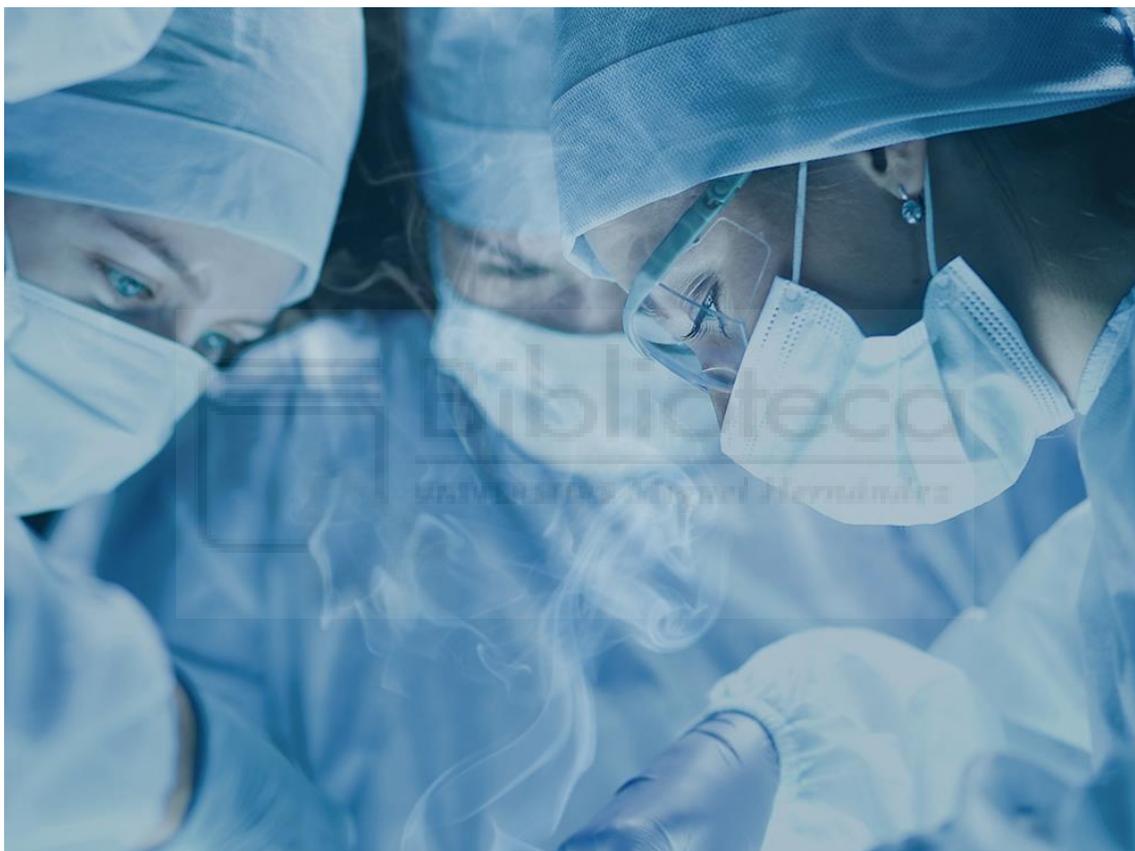


UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

## **HUMOS QUIRÚRGICOS: RIESGOS PARA EL** **PERSONAL DE QUIRÓFANO**



Tutor: Temístocles Quintanilla

Alumno: Gonzalo Garrigós Ortega

Curso académico 2020-21





**INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MÁSTER DEL MÁSTER  
UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

D. TEMÍSTOCLES QUINTANILLA ICARDO, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado "HUMOS QUIRÚRGICOS: RIESGOS PARA EL PERSONAL DE QUIRÓFANO" y realizado por el estudiante D<sup>o</sup>. GONZALO GARRIGÓS ORTEGA

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 9 de junio de 2021

Fdo.: D. TEMÍSTOCLES QUINTANILLA ICARDO  
Tutor TFM

## Resumen

Desde hace décadas es conocido que durante las intervenciones quirúrgicas se generan humos peligrosos para la salud del personal sanitario que se encuentra expuesto. Éstos se generan como producto de la interacción entre los tejidos vivos y los instrumentos quirúrgicos generadores de calor utilizados para la disección y hemostasia (bisturíes de electrocauterio, ultrasónicos o láser). La composición de estos humos quirúrgicos es muy variada y depende del tipo de instrumento utilizado, así como del tejido donde se aplica. Se compone de mezclas de gases, vapores y aerosoles líquidos formados por compuestos químicos de diversos tamaños (cianuro de hidrógeno, benceno, butadieno, etc), pero también por agentes biológicos como virus y células tumorales viables. Estos compuestos además pueden traspasar las mascarillas quirúrgicas estándar utilizadas por el personal quirúrgico. A pesar de esto, las evidencias que relacionen la exposición crónica con la ausencia o presencia de daños para la salud en los trabajadores expuestos son muy pobres. El delicado escenario que comprende un quirófano dificulta la toma de muestras sin interferir en el acto quirúrgico y los análisis de laboratorio hay que interpretarlos con cautela puesto que las condiciones en las que se realizan no son las mismas que en un quirófano. Tampoco hay una normativa uniforme al respecto de la evacuación de estos humos, protección del personal sanitario ni planes de vigilancia de la salud específicos. Toda esta controversia con los humos quirúrgicos se ha incrementado actualmente debido a la pandemia por COVID-19, dada la existencia de posibilidad de contagio y la falta de conocimiento en profundidad que se tiene del comportamiento de este virus. Con este trabajo se pretende hacer una revisión bibliográfica de los principales peligros para la salud derivados de la exposición a los humos quirúrgicos, así como de las medidas preventivas que deben aplicarse para la protección del personal sanitario expuesto.

**Palabras clave:** humo, humos quirúrgicos, peligro, prevención, personal sanitario.

# INDICE

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| RESUMEN.....                                        | 3  |
| JUSTIFICACIÓN.....                                  | 8  |
| OBJETIVOS.....                                      | 9  |
| MATERIAL Y MÉTODOS.....                             | 10 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                         | 11 |
| Origen de los humos quirúrgicos.....                | 11 |
| Bisturí eléctrico.....                              | 11 |
| Láser.....                                          | 13 |
| Bisturí ultrasonidos.....                           | 14 |
| Dispositivos de alta velocidad.....                 | 15 |
| Composición y efectos de los humos quirúrgicos..... | 16 |
| Partículas de diferentes tamaños.....               | 16 |
| Compuestos químicos.....                            | 16 |
| Células viables.....                                | 24 |
| Virus y bacterias viables.....                      | 24 |
| Efectos del humo quirúrgico.....                    | 25 |
| Efectos generales.....                              | 25 |
| Efectos específicos.....                            | 26 |
| Estudios en humanos.....                            | 26 |
| ¿Qué es lo que se ha publicado a día de hoy?.....   | 27 |
| Cirugía laparoscópica.....                          | 29 |
| Distribución del humo por el quirófano.....         | 31 |
| Normativa sobre los humos quirúrgicos.....          | 32 |
| España.....                                         | 32 |

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ¿Y qué normativa hay a nivel internacional en otros países?.....                                                                         | 36 |
| Medidas preventivas.....                                                                                                                 | 39 |
| Planificación medidas preventivas.....                                                                                                   | 40 |
| Formación de los trabajadores.....                                                                                                       | 41 |
| Sistemas de evacuación de humos.....                                                                                                     | 41 |
| Cirugía laparoscópica: caso especial.....                                                                                                | 49 |
| Medidas de protección personal.....                                                                                                      | 52 |
| Evaluación de la eficacia de las medidas preventivas.....                                                                                | 58 |
| Vigilancia de la salud.....                                                                                                              | 59 |
| CONCLUSIONES.....                                                                                                                        | 60 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                                          | 62 |
| Figura 1: Electrobisturí o generador de altas frecuencias.....                                                                           | 12 |
| Figura 2: Circuito eléctrico.....                                                                                                        | 12 |
| Figura 3: Bisturí eléctrico monopolar.....                                                                                               | 13 |
| Figura 4: Bisturí eléctrico binopolar.....                                                                                               | 13 |
| Figura 5: Láser quirúrgico.....                                                                                                          | 14 |
| Figura 6: Bisturí ultrasónico.....                                                                                                       | 15 |
| Figura 7: Sierra quirúrgica para hueso.....                                                                                              | 15 |
| Figura 8: Virus y bacterias viables identificados en el humo quirúrgico.....                                                             | 25 |
| Figura 9: Resumen de compuestos químicos y posibles peligros.....                                                                        | 26 |
| Figura 10: Ejemplo de laparoscopia con la cavidad abdominal rellena con el CO y el instrumental quirúrgico a través de los trócares..... | 30 |
| Figura 11: Trócar de laparoscopia usado para introducir instrumental en la cavidad abdominal y con la válvula de escape.....             | 30 |
| Figura 12: Esquema de actuación que propone la AORN.....                                                                                 | 37 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 13: Sistema de aspiración de pared en un quirófano.....                                                                                | 42 |
| Figura 14: Filtro en línea para sistemas de aspiración de pared.....                                                                          | 43 |
| Figura 15: Bisturí electrocauterio con aspirador integrado.....                                                                               | 46 |
| Figura 16: Filtro electrostático.....                                                                                                         | 49 |
| Figura 17: Ejemplo de humo durante intervención por laparoscopia.....                                                                         | 50 |
| Figura 18: Filtro acoplado a válvula salida gases trocar laparoscopia.....                                                                    | 50 |
| Figura 19: Sistema de aspiración continua de laparoscopia con filtro.....                                                                     | 52 |
| Figura 20: mascarilla quirúrgica.....                                                                                                         | 52 |
| Figura 21: Equipo respiratorio FFP3 sin válvula.....                                                                                          | 55 |
| Figura 22: Diferencias entre mascarillas quirúrgica y N95.....                                                                                | 55 |
| Figura 23: Gafas de seguridad con protección lateral.....                                                                                     | 56 |
| Figura 24: batas y guantes quirúrgicos.....                                                                                                   | 57 |
| Figura 25: Robot Da Vinci para intervenciones quirúrgicas.....                                                                                | 58 |
| Tabla 1: Productos químicos identificados en los humos quirúrgicos.....                                                                       | 17 |
| Tabla 2: Compuestos detectados según tejido y procedimiento quirúrgico.....                                                                   | 18 |
| Tabla 3: Resumen de algunos compuestos químicos detectados, efectos y valores límite (PEL y TVL) según diferentes entidades.....              | 22 |
| Tabla 4: Resumen sobre diferentes tipos de humos, tamaño de partículas generadas, composición y peligros.....                                 | 23 |
| Tabla 5: Estudio de Hollmann con medidas tomadas de bisturí electrocauterio a 2cm del foco y comparando con los límites en Suiza en 2001..... | 23 |
| Tabla 6: efectos agudos y crónicos.....                                                                                                       | 25 |
| Tabla 7: Tabla-resumen con los compuestos químicos y sus potenciales daños.....                                                               | 27 |
| Tabla 8: tipos de quirófano y clasificación del mismo.....                                                                                    | 33 |

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 9: Caudal de ventilación, movimientos por hora del aire, temperaturas, presión y filtros indicados para quirófanos.....                                   | 33 |
| Tabla 10: Límites máximos de concentración de partículas por metro cúbico (m <sup>3</sup> ) de aire en la nueva EN ISO 14644-1:2016.....                        | 34 |
| Tabla 11: Diferencia de concentraciones halladas según tejido aplicado y aplicación o no de sistema de evacuación de humos (SES) funcionando al 60% o 100%..... | 46 |
| Tabla 12: eficacia en retención de partículas de tamaño mayor o igual a 0,3 µm Según la Norma EN 1822.....                                                      | 47 |
| Tabla 13: Nueva clasificación de los filtros según ISO 29463.....                                                                                               | 47 |
| Tabla 14: Diferencias entre Filtro mecánico y filtro electrostático.....                                                                                        | 49 |
| Tabla 15: Reducción de concentraciones tras aplicar filtros laparoscopia.....                                                                                   | 51 |
| Tabla 16: requisitos según tipo de mascarilla según la norma UNE-EN 14683:2019 AC.....                                                                          | 53 |
| Tabla 17: Eficacia de filtración según nomenclatura de mascarillas.....                                                                                         | 54 |

## Justificación

De lo descrito en la literatura se deduce que existe una posibilidad real de que los humos derivados del uso de diversos tipos de energía durante las intervenciones quirúrgicas produzcan daños en el personal sanitario y el propio paciente durante la intervención.

La complejidad de la composición de estos humos ya que pueden contener compuestos químicos de diversos tamaños y por tanto múltiples partículas diferentes, así como material biológico en combinación con las partículas químicas hace que sea francamente complicado extraer conclusiones del análisis de las mismas. La composición también depende del tipo de energía utilizado, así como del tejido donde se aplica. Además las condiciones que imperan en un quirófano también dificultan la correcta toma de muestras y la interpretación de los resultados realizados en estudios “in vitro” en laboratorio se debe tomar con cautela a la hora de extrapolarlas a la vida real.

Frente a esta situación no hay una conciencia de las autoridades ni del propio personal quirúrgico para generar mecanismos de prevención y protección adecuados. No existen unas guías uniformes de consenso ni el personal está formado ni concienciado de los peligros derivados sobretodo de la exposición crónica a estos humos.

Por ello, y como cirujano personalmente, siempre me ha llamado la atención este problema, que parece que ahora con la pandemia por COVID-19 sí que hay más concienciación al respecto. Bien es cierto que las condiciones específicas del aire del quirófano (definidos por diferentes normas como la UNE 100713:2005, UNE-EN ISO 14644-1:2016, etc) respecto a caudal de aire, renovaciones, etc, actúan realizando una “dilución” general de los contaminantes, como hemos visto a lo largo del máster, esto no es suficiente, y aplicando los conocimientos adquiridos en este máster lo más eficaz podría ser la extracción localizada en el punto de producción. Además, está por definir los equipos de protección más adecuados. Actualmente se dispone de bisturíes de electrocauterio con aspiración incorporada que recogen los humos generados pasando posteriormente por un sistema de filtro que si bien son de mayor precio, producen una mayor protección contra este peligro, pero su uso no está extendido ni recomendado (todavía) por las autoridades competentes.

## Objetivos

El principal objetivo de este estudio es hacer una revisión bibliográfica para identificar los principales peligros derivados de los humos quirúrgicos en el personal sanitario.

Asimismo, pretende también identificar y evaluar las medidas preventivas propuestas, así como las medidas de protección recomendadas para el personal expuesto.



## Material y métodos

Para realizar este estudio se ha realizado una revisión bibliográfica de la literatura disponible tanto en español como en inglés, consultando diferentes bases de datos (Medline, Science direct, Cochrane, Embase, Google Scholar). Se han buscado los términos: humo quirófano, humos quirúrgicos tanto en español como en inglés.

Como criterio de inclusión principal ha sido estudios realizados desde 2005 y que evidentemente versaran sobre el tema de interés del proyecto: artículos que describieran como se generan los humos, la composición de los humos, posibles daños, descripción de tomas de muestras y métodos de prevención propuestos.

También se han analizado las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados para identificar otros estudios potencialmente incluíbles para la revisión.



## Resultados y discusión

Desde el primer uso en 1926 por William T Bovie<sup>1</sup> de instrumentos electroquirúrgicos, su uso se ha extendido y generalizado en todas las ramas de la cirugía. Desde esos inicios hace casi 90 años, los diseños, usos, han ido cambiando y perfeccionando. Sin embargo, todos tienen algo en común: el uso de energía para separar tejidos y/o producir hemostasia. Como consecuencia, se produce el humo quirúrgico, también conocido como aerosol, bioaerosol, columna de humo o humo de cauterio.

Precisamente, no es hasta 1975 cuando Mihashi et al<sup>2</sup> publican su preocupación respecto a la posibilidad de la inhalación de partículas y los investigadores y profesionales comienzan a investigar y evaluar los humos quirúrgicos, documentando y publicando los resultados de sus investigaciones.

### **1. ORIGEN DE LOS HUMOS QUIRÚRGICOS**

Hoy en día los principales tipos de instrumentos electroquirúrgicos con capacidad para generar humos que se utilizan son:

#### **1.1. Bisturí eléctrico/Bisturí de cauterio/Electrobisturí**

Es un instrumento quirúrgico que corta el tejido y a la vez cauteriza los vasos evitando la hemorragia. También se puede utilizar para destruir tejidos. Es de uso cotidiano en prácticamente todas las especialidades quirúrgicas.

El fundamento de su funcionamiento es generar el calor necesario para la cauterización al estar conectado a un generador de corriente alterna de alta frecuencia (0,5-1,75MHz) y alta intensidad (100-300W)

El equipo consta de 2 partes: el generador de corriente (no estéril) y el cable con el mango del terminal del bisturí (parte estéril) que forman un circuito eléctrico: la corriente fluye desde el generador hasta un electrodo activo y a través del tejido, volver al generador a través de un electrodo pasivo.



Figura 1: Electrobisturí o generador de altas frecuencias (fuente: Internet)

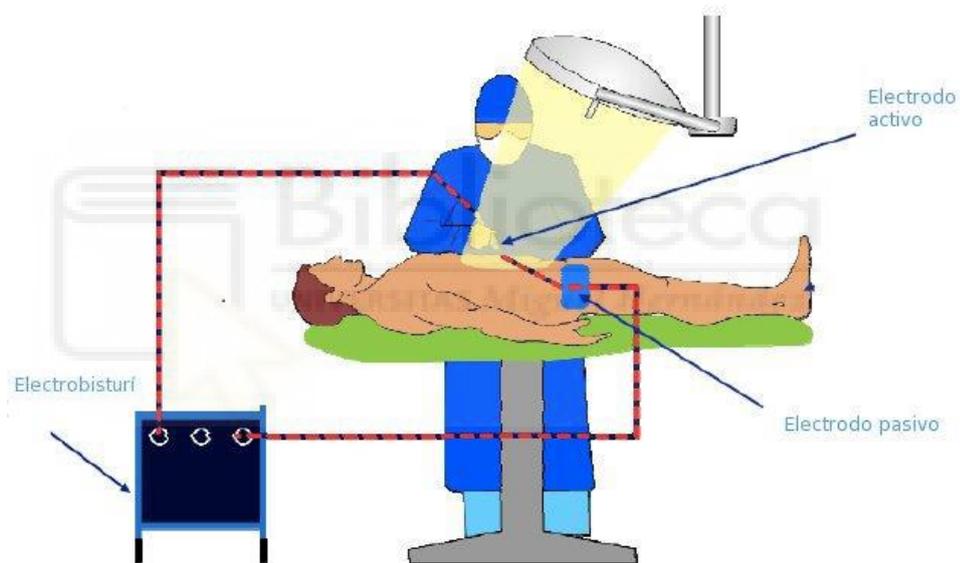


Figura 2: Circuito eléctrico (fuente: Internet)

Esta electrocauterización puede ser de 2 tipos:

Monopolar: la corriente fluye desde la punta del bisturí donde se produce la cauterización y el cuerpo del paciente actúa como “tierra” colocando una almohadilla de “tierra” en el cuerpo del paciente que devuelve el impulso eléctrico al generador (esta almohadilla es imprescindible para no provocar quemaduras eléctricas en el paciente)



Figura 3: Bisturí eléctrico monopolar (fuente: Internet)

Bipolar: la punta del bisturí es doble y hace a la vez de electrodo activo y “tierra” en el mismo lugar de la cauterización, cauterizando únicamente el tejido localizado entre ambos electrodos.



Figura 4: Bisturí eléctrico bipolar (fuente: Internet)

Estos instrumentos producen temperaturas de hasta 200°C produciendo la vaporización del contenido celular<sup>3</sup> y formando el humo quirúrgico.

## 1.2. Láser

Son los segundos instrumentos electroquirúrgicos generadores de calor más usados por los cirujanos.<sup>3</sup> Estos equipos producen haces de luz concentrada, que no se dispersa y con única longitud de onda. Los usos son: cortar, vaporizar, extirpar y coagular.

Los láseres producen alta energía en un punto produciendo altas temperaturas (de 100 a 1000°C), produciendo la vaporización del contenido celular y formando de esta manera humos quirúrgicos, de similar manera que el producido por el bisturí eléctrico.



Figura 5: Láser quirúrgico (fuente: Internet)

### 1.3. Dispositivos ultrasonido

Estos instrumentos, cada vez más populares, producen separación de tejidos y coagulación a través de un mecanismo mecánico muy rápido, sin producir sonido dado que las vibraciones que generan están por encima del rango de audición.

Cuando las puntas del bisturí ultrasónico vibran (a una frecuencia de 55,000 veces por segundo), se produce calor y energía que se usa para cortar y coagular tejidos. Debido a que la temperatura que se produce es baja, el vapor que se produce podría transportar aerosoles infecciosos<sup>3</sup>. De hecho, se han encontrado mayores cantidades de material celular en los humos producidos por estos instrumentos ultrasónicos.<sup>4</sup>



Figura 6: Bisturí ultrasónico (fuente: Internet)

#### 1.4. Dispositivos de alta velocidad

En determinadas intervenciones se utilizan otros dispositivos eléctricos tales como taladros, sierras para huesos, etc. Que también general calor por fricción, disecando el tejido. Esto produce que en determinadas circunstancias se instilen gotas de agua para enfriar el torno, sierra, etc

Esta combinación de instrumentos con rápido movimiento y los fluidos generan una niebla de aerosoles que contiene células sanguíneas con capacidad para alcanzar la zona de respiración del personal de quirófano.<sup>5</sup> y por tanto, con capacidad hipotética para la transmisión de patógenos.



Figura 7: Sierra quirúrgica para hueso (fuente: Internet)

De todo esto se puede deducir que dependiendo del tiempo instrumento utilizado, la composición del humo varía, y por tanto los riesgos. A modo de conclusión podemos decir que los humos generados por el electrocauterio contienen más partículas (hasta 4 veces más que los ultrasónicos) pero menos riesgo biológico potencial al tener una temperatura más alta. Mientras que por otra

parte, los humos generados por láseres, bisturís de ultrasonidos y dispositivos de alta velocidad contienen menos partículas pero mayor riesgo biológico al tener temperaturas más bajas.

## **2. COMPOSICIÓN Y EFECTOS DE LOS HUMOS QUIRÚRGICOS**

### **2.1. PARTÍCULAS DE DIFERENTES TAMAÑOS**

Dependiendo del instrumento utilizado y del tejido donde se aplica, se emiten al ambiente diferentes partículas en forma de aerosoles. Estos aerosoles están formados un 95% por agua y un 5% por desechos celulares en forma de partículas, que a su vez están compuestas por sustancias químicas y restos biológicos (virus, restos sanguíneos y de los tejidos)<sup>6</sup>.

Se conoce que con el bisturí de electrocauterio se producen partículas de  $0.07\mu\text{m}$ <sup>7</sup>, la ablación con láser de  $0.3\mu\text{m}$ <sup>8</sup> y el bisturí de ultrasonidos de 0.3 a  $6\mu\text{m}$ <sup>9</sup>. Cuanto menores son estas partículas, más lejos pueden viajar, las más pequeñas pueden llegar hasta 100 cm desde el punto donde se producen<sup>10</sup>. Las partículas menores de  $5\mu\text{m}$  son consideradas como “polvos lesivos para el pulmón” puesto al ser más pequeñas traspasan las vías respiratorias superiores pudiendo llegar hasta los alveolos pulmonares, también traspasan las mascarillas quirúrgicas del personal de quirófano<sup>11</sup>. Las mayores de  $5\mu\text{m}$  quedan atrapadas y/o depositadas en las fosas nasales, faringe, tráquea y bronquios. Un estudio<sup>2</sup> constata que el 77% de las partículas que forman el humo quirúrgico son de un tamaño < de  $1.1\mu\text{m}$  con una media de  $0,07\mu\text{m}$  (el estudio está realizado con láser, con lo que si fuera con el bisturí de electrocauterio probablemente serían de menor tamaño). Por lo tanto, podemos afirmar que gran cantidad de las partículas producidas se pueden aspirar y llegar hasta los pulmones donde se depositan en los alveolos. Hay experimentos que demuestran que, en animales de laboratorio, los daños que producen los humos quirúrgicos en el parénquima pulmonar van desde la neumonía intersticial inflamatoria hasta el enfisema extenso, siendo éstos directamente proporcionales al tiempo de exposición<sup>12</sup>.

### **2.2. COMPUESTOS QUÍMICOS**

Diversos autores han concluido que la composición de los humos quirúrgicos es muy diversa, dependiendo del tipo de intervención y del material utilizado.<sup>13</sup> Al Sahaf y col. indican, sin

embargo, que los hidrocarburos, nitrilos, ácidos grasos y los fenoles siempre están presentes. Estos autores realizaron sus análisis en diversas condiciones y así fueron capaces de determinar diferencias cuantitativas en la composición del humo producido<sup>14</sup>.

Como veremos más adelante, estos compuestos químicos, además de contribuir al olor desagradable, son conocidos irritantes, produciendo fundamentalmente cefalea, irritación ocular, nasal y faríngea. Los hidrocarburos aromáticos, benceno y formaldehído son carcinógenos conocidos.

Listado con algunos de los productos químicos más frecuentemente identificados en los humos quirúrgicos<sup>3,12,13,19</sup>:

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| Acroleína            | Ácido hexadecanoico      |
| Acetonitrilo         | Cianuro de hidrógeno     |
| Acrilonitrilo        | Indol                    |
| Acetileno            | Isobuteno                |
| Alquilbencenos       | Metanol                  |
| Benzaldehídos        | 6-Metilindol             |
| Benceno              | 2-Metilpropanol          |
| Benzonitrilo         | 3-Metilbutenal           |
| Butadieno            | 2-Metilfurano            |
| Butano               | 4-Metilfenol             |
| 3-butenonitrilo      | Metilpiracina            |
| Disulfuro de carbono | Fenol                    |
| Monóxido de carbono  | Hidrocarburos aromáticos |
| Cresoles             | Propeno                  |
| 1-Deceno             | Propileno                |
| 2,3 Dihidroindeno    | 2-Propileno nitrilo      |
| Etano                | Piridina                 |
| Eteno                | Pirrol                   |
| Etilbenceno          | Estireno                 |
| Etileno              | Tolueno                  |
| Etinilbenceno        | 1-Undeceno               |
| Formoaldehído        | Xileno                   |

Tabla 1: Productos químicos identificados en los humos quirúrgicos<sup>12</sup>

Uno de los principales factores de los que depende la composición de estos humos, es el tejido donde se originan. De esta manera, el tejido adiposo produce una mayor cantidad de aldehído y menos tolueno, mientras que el epidérmico produce mayores concentraciones de tolueno, etilbenceno y xileno.

**Table 1** Compounds identified in electrosurgical smoke

| Compound                | Verruca extraction<br>( $\mu\text{g/ml DCM}$ ) | Pilonidal sinus removal<br>( $\mu\text{g/ml DCM}$ ) | Abdominal surgery<br>( $\mu\text{g/ml DCM}$ ) |
|-------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Cyclohexanone           | 6.13                                           | 19.9                                                | 48.6                                          |
| Decene                  | ND                                             | 1.86                                                | 4.79                                          |
| Decane                  | 2.20                                           | 0.6                                                 | 3.00                                          |
| Dodecene                | ND                                             | 1.21                                                | 4.01                                          |
| Dodecane                | 23.06                                          | 0.95                                                | 4.35                                          |
| Ethylbenzene            | 3.23                                           | D                                                   | D                                             |
| Heptanal                | ND                                             | ND                                                  | 0.31                                          |
| Nonanal                 | ND                                             | ND                                                  | 6.06                                          |
| <i>n</i> -propylbenzene | ND                                             | ND                                                  | D                                             |
| Pentadecane             | ND                                             | 0.6                                                 | D                                             |
| Perchloroethylene       | 0.35                                           | D                                                   | 0.03                                          |
| Tridecane               | 0.50                                           | 0.72                                                | 0.11                                          |
| Tetradecane             | 1.86                                           | 0.95                                                | 0.19                                          |
| Tetradecene             | ND                                             | 0.31                                                | 0.58                                          |
| Toluene                 | 4.39                                           | 2.11                                                | 0.80                                          |
| Undecane                | 2.09                                           | 0.68                                                | 5.76                                          |
| Undecene                | ND                                             | 1.17                                                | 1.00                                          |
| Xylene                  | 6.06                                           | D                                                   | D                                             |

*ND* not detected, *D* detected below detection limit

Verruca extraction ( $n = 2$ ), pilonidal sinus removal ( $n = 2$ ), abdominal surgery ( $n = 9$ )

Tabla 2: Compuestos detectados según tejido y procedimiento quirúrgico<sup>14</sup>

Vamos a proceder a describir de forma un poco más detallada los más relevantes.<sup>3, 13,19</sup>

### 2.2.1. Hidrocarburos aromáticos

Dentro de la familia de los hidrocarburos aromáticos los 3 compuestos químicos más importantes que se encuentran son:

Benceno: es un carcinógeno conocido para los humanos produciendo aplasia medular y leucemia (clasificado como 1A). Además, es tóxico, pudiendo producir intoxicaciones agudas ejerciendo como depresor del sistema nervioso central con síntomas como: astenia, náuseas, vértigo, dolor de cabeza, disminución del nivel de conciencia, coma y muerte. Si bien esta intoxicación aguda aparece en concentraciones más elevadas que las detectadas en los humos quirúrgicos.

Se han detectado niveles de benceno de hasta 71mg/m<sup>3</sup> cerca del bisturí eléctrico y de 0.5-7.4mg/m<sup>3</sup> en el aire de quirófano excediendo el límite establecido tanto por:

-INSST: 1ppm o 3,25mg/m<sup>3</sup>

-OSHA 0.2 mg/m<sup>3</sup>

-NIOSH (0.1 mg/m<sup>3</sup>)

| N° CE     | N° CAS  | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |                                              | NOTAS                                          | INDICACIONES DE PELIGRO (H)    |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
|           |         |                                                             | VLA-ED <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> | VLA-EC <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |                                                |                                |
| 200-753-7 | 71-43-2 | Benceno                                                     | 1                                            | 3,25                                         | CIA, MIB, via dérmica, VLB <sup>§</sup> , v, r | 225-350-340-372<br>304-319-315 |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

Tolueno: Irritante de la mucosa respiratoria y ocular. Puede actuar también como depresor del sistema nervioso central. La exposición crónica a largo plazo puede producir pérdida de visión, auditiva y de control muscular. A altas concentraciones también es teratogénico.

| N° CE     | N° CAS   | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |                                              | NOTAS                                             | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|----------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|
|           |          |                                                             | VLA-ED <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> | VLA-EC <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |                                                   |                             |
| 203-625-9 | 108-88-3 | Tolueno                                                     | 50                                           | 192                                          | 100 384<br>via dérmica, VLB <sup>§</sup> , VLI, r | 225-361d-<br>373-315-3      |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

Xileno: Irritante de la mucosa respiratoria. Depresor del sistema nervioso central. La exposición crónica a largo plazo produce cambios reversibles en el recuento de células sanguíneas.

| N° CE     | N° CAS    | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |                                              | NOTAS                                          | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|
|           |           |                                                             | VLA-ED <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> | VLA-EC <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |                                                |                             |
| 215-535-7 | 1330-20-7 | Xileno, mezcla isómeros                                     | 50                                           | 221                                          | 100 442<br>via dérmica, VLB <sup>§</sup> , VLI | 226-332<br>312-315          |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

### 2.2.2. Aldehídos

Son irritantes de la mucosa respiratoria a bajas concentraciones y pueden producir lesiones de la mucosa bronquial.

Acetaldehído: Irritante de la piel, ojos y mucosa respiratoria. Produce eritema cutáneo, tos, edema pulmonar y narcosis. Podría facilitar el depósito de otros contaminantes atmosféricos en el epitelio bronquial. Potencial teratogénico.

| N° CE     | N° CAS  | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |                                              | NOTAS | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|-----------------------------|
|           |         |                                                             | VLA-ED <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> | VLA-EC <sup>§</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |       |                             |
| 200-836-8 | 75-07-0 | Acetaldehído                                                |                                              |                                              | 25 46 | 224-351-319-335             |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

Formaldehído: Irritante de la piel, ojos y mucosa respiratoria. Produce tos y broncoespasmo. Carcinogénico (produce tumores nasales en ratas)

| N° CE     | N° CAS  | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |      |                                              |      | NOTAS      | INDICACIONES DE PELIGRO (H)    |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|----------------------------------------------|------|------------|--------------------------------|
|           |         |                                                             | VLA-ED <sup>®</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |      | VLA-EC <sup>®</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |      |            |                                |
| 200-001-8 | 50-00-0 | Formaldehído (2018)                                         | 0,3                                          | 0,37 | 0,6                                          | 0,74 | C1B, Sen,s | 350-341-301-311<br>331-314-317 |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

Acroleína: Irritante de la piel, ojos y mucosa respiratoria. Produce prolongación del tiempo de coagulación sanguínea y toxicidad hepática y renal.

| N° CE     | N° CAS   | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |      |                                              |      | NOTAS | INDICACIONES DE PELIGRO (H)    |
|-----------|----------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|----------------------------------------------|------|-------|--------------------------------|
|           |          |                                                             | VLA-ED <sup>®</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |      | VLA-EC <sup>®</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |      |       |                                |
| 203-453-4 | 107-02-8 | Acroleína (2018)                                            | 0,02                                         | 0,05 | 0,05                                         | 0,12 | VLI   | 225-330-300-311<br>314-400-410 |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

### 2.2.3. Hydrocarbons aromatic polycyclic

En general son irritantes para los ojos, piel, nariz, gargantas y vías respiratorias. Causan astenia, insomnio, cefalea. A nivel pulmonar pueden producir asma, enfisema y bronquitis.

Algunos están clasificados carcinógenos según la EPA.

En España el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ha establecido el VLA-ED de 2 µg/m<sup>3</sup> para el Benzo[a]pireno.

### 2.2.4. Cresols

La exposición aguda produce: náuseas, cefalea, conjuntivitis, alteraciones audiovisuales, taquicardia y disnea.

La exposición crónica se relaciona con: anorexia, trastornos neurológicos, dermatitis y cefalea.

| N° CE     | N° CAS    | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |    |                                              |  | NOTAS            | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|-----------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----|----------------------------------------------|--|------------------|-----------------------------|
|           |           |                                                             | VLA-ED <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |    | VLA-EC <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |  |                  |                             |
| 215-293-2 | 1319-77-3 | Cresol, todos los isómeros                                  | 5                                            | 22 |                                              |  | via dérmica, VLI | 311-301-314                 |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

### 2.2.5. Fenol

Irritante para la piel, ojos y la mucosa respiratoria.

| N° CE     | N° CAS   | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |   |                                              |    | NOTAS                               | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|----------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---|----------------------------------------------|----|-------------------------------------|-----------------------------|
|           |          |                                                             | VLA-ED <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |   | VLA-EC <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |    |                                     |                             |
| 203-632-7 | 108-95-2 | Fenol (2012)                                                | 2                                            | 8 | 4                                            | 16 | via dérmica, VLB <sup>6</sup> , VLI | 341-331-311<br>301-373-314  |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

### 2.2.6. Cianuro de Hidrógeno

A las concentraciones encontradas en los humos quirúrgicos no puede producir efectos agudos. Sin embargo, a largo plazo, la intoxicación crónica es posible: cefalea, palpitaciones, náuseas, alteraciones gastrointestinales, pérdida de peso y alteraciones de la glándula tiroides.

DHH ha decretado unos valores para corta exposición de 10 ppm, justo lo que se ha hallado en algunos estudios.

| N° CE     | N° CAS  | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |   |                                              |  | NOTAS            | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|---------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---|----------------------------------------------|--|------------------|-----------------------------|
|           |         |                                                             | VLA-ED <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |   | VLA-EC <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |  |                  |                             |
| 200-521-6 | 74-90-8 | Cianuro de hidrógeno como CN (2018)                         |                                              | 1 | 5                                            |  | VLI, via dérmica | 224-330-400-410             |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

### 2.2.7. Monóxido de carbono

Intoxicación aguda: cefalea, náuseas, astenia, somnolencia y coma.

La exposición crónica podría estar relacionada con problemas vasculares y aumento del riesgo de infarto de miocardio y enfermedad de Parkinson.

Se han encontrado niveles con un amplio rango desde 100-1900 ppm superando ampliamente los niveles recomendados.

| N° CE     | N° CAS   | AGENTE QUÍMICO<br>(año de incorporación o de actualización) | VALORES LÍMITE                               |        |                                              |         | NOTAS                           | INDICACIONES DE PELIGRO (H) |
|-----------|----------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------|----------------------------------------------|---------|---------------------------------|-----------------------------|
|           |          |                                                             | VLA-ED <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |        | VLA-EC <sup>8</sup><br>ppm mg/m <sup>3</sup> |         |                                 |                             |
| 211-128-3 | 630-08-0 | Monóxido de carbono (2018)                                  | 20 (-)                                       | 23 (-) | 100 (-)                                      | 117 (-) | VLI, TR1A, VLB <sup>6</sup> , r | 220-360D<br>331-372         |

Fuente: Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. 2019. INSST <sup>46</sup>

Este compuesto es especialmente importante en las intervenciones por laparoscopia, pues es el gas que se insufla en la cavidad abdominal del paciente.

| <b>TABLE 3<br/>Chemicals Present in Surgical Smoke</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Acetaldehyde</b><br/>OSHA PEL*: 200 parts per million (ppm)<br/>ACGIH TVL**: STEL<sup>‡</sup>: 25 ppm (A3 carcinogen)<br/>NIOSH REL<sup>¶</sup>: Carcinogenic without further association<br/>Health effects: Eye, skin, and respiratory irritant. Clinical exposure to vapors also include erythema, coughing, pulmonary edema, narcosis. May be teratogenic. Irritation can be expected after 50 ppm for 15 minutes. May facilitate uptake of other atmospheric contaminants by bronchial epithelium.</p> | <p>Health effects: Eye, nose, throat, and respiratory system irritant. Exposure may cause cough and bronchospasm. Sensitizer. Shown to cause nasal tumors in rats.</p>                                                                                                                                                                                                                        |
| <p><b>Acrolein</b><br/>OSHA PEL: 0.1 ppm (0.25 mg/m<sup>3</sup>)<br/>NIOSH REL: 5 mg/m<sup>3</sup><br/>Health effects: Eye, skin, upper respiratory tract irritant. May increase blood clotting time and cause liver and kidney damage.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                       | <p><b>Polyaromatic hydrocarbons (naphthalene)</b><br/>OSHA PEL: 10 ppm (naphthalene)<br/>ACGIH TVL: 10 ppm (naphthalene); STEL: 15 ppm<br/>Health effects: Absorbed via respiratory tract. Ocular, respiratory irritant. Wide range of sensitivity. Effects noted in very low doses. Exposure likely occurs via particle inhalation. Styrene and acrolein may increase inhalation effect.</p> |
| <p><b>Acetonitrile</b><br/>OSHA PEL: 40 ppm<br/>ACGIH TVL: 40 ppm<br/>Health effects: Nose irritant, throat asphyxiant. Has caused liver and kidney damage in animal models.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p><b>Styrene</b><br/>OSHA PEL: 100 ppm (ceiling 200 ppm; peak 600 ppm) (5 minutes)<br/>ACGIH TVL: 213 ng/m<sup>3</sup> = 50 ppm<br/>Health effects: Respiratory irritant. Short-term vapor exposure in animal studies found damage to the lining of the nose.</p>                                                                                                                            |
| <p><b>Benzene</b><br/>OSHA PEL: 1 ppm (3 mg/m<sup>3</sup>)<br/>ACGIH TVL: 10 ppm (32 mg/m<sup>3</sup>)<br/>NIOSH REL: 0.1 mg/m<sup>3</sup><br/>Health effects: Headache, weakness, appetite loss, and fatigue. May cause bone marrow damage, injury to blood-forming tissue from chronic low-level exposure. The threshold value limit of parts per million inhaled intermittently over one year may alter nutritional status and gross metabolism.</p>                                                           | <p><b>Toluene</b><br/>OSHA PEL: 200 ppm (ceiling 200 ppm; peak 600 ppm)<br/>ACGIH TVL: 50 ppm<br/>NIOSH REL: 100 ppm; STEL: 150 ppm<br/>Health effects: Well absorbed via inhalation. Vapors irritate eyes, respiratory tract. Extensive documentation of effects in animal models, many related to central nervous system functions. High levels associated with teratogenesis.</p>          |
| <p><b>Formaldehyde</b><br/>OSHA PEL: 0.75 ppm (2.5 mg/m<sup>3</sup>)<br/>ACGIH TVL: STEL: 2 ppm (15 minutes) (A3 carcinogen)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p><b>Xylene</b><br/>OSHA PEL: 100 ppm; STEL: 150 ppm<br/>ACGIH TVL: 100 ppm<br/>Health effects: Well absorbed via respiratory tract. Respiratory tract irritation begins at 200 ppm. Chronic exposure associated with reversible changes in red and white blood cell counts and increases in platelet counts.</p>                                                                            |
| <p><i>Reprinted with permission from Covidien, Boulder, CO.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <p>* Occupational Safety and Health Administration (OSHA) permissible exposure limit (PEL)<br/>** American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) threshold value limit (TVL)<br/>‡ Short-term exposure limit (STEL)<br/>¶ National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) recommended exposure limit (REL)</p>                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

Tabla 3: Resumen de algunos compuestos químicos detectados, efectos y valores límite (PEL y TVL) según diferentes entidades.<sup>3</sup>

Table 2. Composition of Various Types of Smoke

| Type of Smoke                            | Particle Size, $\mu\text{m}$                                                                         | Composition                                                                                                                                                   | Hazards                                                                   |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Surgical smoke                           |                                                                                                      |                                                                                                                                                               |                                                                           |
| Electrocautery                           | 0.007-0.42 <sup>53</sup>                                                                             | Many toxic, mutagenic, and carcinogenic compounds, such as those described in the Box and Table 1; infectious virions <sup>28,53</sup>                        | Unknown, higher levels of PM and VOCs <sup>35,37</sup>                    |
| Laser irradiation                        | 0.1-0.8 <sup>53</sup>                                                                                | Many toxic, mutagenic, and carcinogenic compounds, such as those described in the Box and Table 1; viable cells, bacteriophages, and viruses <sup>28,29</sup> | Unknown, potentially higher risk of infectious transmission <sup>29</sup> |
| Ultrasonic scalpel                       | 0.35-6.5 <sup>53</sup>                                                                               | Many toxic, mutagenic, and carcinogenic compounds such as those described in the Box and Table 1; blood and tissue particles <sup>28,30,53</sup>              | Unknown, potentially higher risk of cancer transmission <sup>30</sup>     |
| Tobacco smoke (firsthand and secondhand) | 0.02-2 <sup>54</sup>                                                                                 | Ammonia, acrolein, carbon monoxide, formaldehyde, hydrogen cyanide, nicotine, nitrogen oxides, phenol, sulfur dioxide <sup>42</sup>                           | Lung cancer, pulmonary disease                                            |
| Cooking smoke                            | 0.006-10 <sup>55</sup>                                                                               | PAHs, HCAs, saturated and unsaturated fatty acids, hydrocarbons, alcohols, ketones, aldehydes <sup>44,55</sup>                                                | Pulmonary irritation, lung cancer <sup>47</sup>                           |
| Wood burning                             | 0.3-20; average 0.05 <sup>56</sup>                                                                   | Carbon monoxide, nitric oxide, nitric dioxide, benzene, benzo[a]pyrene <sup>56</sup>                                                                          | Asthma, pneumonia, low birth weight <sup>49,51</sup>                      |
| City air pollution                       | Contains PM (<10) and UFP (<2.5); particles 0.3-0.65 make up largest mass contribution <sup>57</sup> | Ozone, nitrogen oxides, carbon monoxide, VOCs, PAHs, organic and elemental carbon, ammonium, nitrate, chlorine, and nickel <sup>58</sup>                      |                                                                           |

Abbreviations: HCA indicates heterocyclic amines; PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons; PM, particulate matter; UFP, ultrafine particles; VOC, volatile organic compounds.

Tabla 4: Resumen sobre diferentes tipos de humos, tamaño de partículas generadas, composición y peligros.<sup>19</sup>

| CAS No.   | Substance                 | Formula                                      | Detection limit [ppm V] | Concentration [ppm V] | OEL [ppm V] Switzerland 2001 |
|-----------|---------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 100-80-1  | 1-Ethenyl-3-methylbenzene | C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>               | 0.3                     | 12                    | na                           |
| 106-99-0  | 1,3-Butadiene             | C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>                | 0.016                   | 1.5                   | 5.0                          |
| 107-12-0  | Propanenitrile            | C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> N              | 1.1                     | 18                    | na                           |
| 108-88-3  | Toluene                   | C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>                | 0.2                     | 17                    | 50                           |
| 556-64-9  | Methyl thiocyanate        | CH <sub>3</sub> SCN                          | 0.4                     | 22                    | na                           |
| 592-76-7  | 1-Heptene                 | C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>               | 0.1                     | 8.5                   | na                           |
| 74-85-1   | Ethylene                  | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                | 0.00007                 | 0.065                 | 10000                        |
| 7664-41-7 | Ammonia                   | NH <sub>3</sub>                              | 0.00007                 | 0.12                  | 20                           |
| 872-05-9  | 1-Decene                  | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>              | 0.8                     | 190                   | na                           |
| 98-01-1   | 2-Furaldehyde             | C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0.2                     | 24                    | 2                            |
| 115-11-7  | Methylpropene             | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>                | 0.02                    | 7.2                   | na                           |

na: not available

CAS = Chemical Abstracts Service registry number

Tabla 5: Estudio de Hollmann con medidas tomadas de bisturí electrocauterio a 2cm del foco y comparando con los límites en Suiza en 2001<sup>1</sup>

## **2.3. CÉLULAS VIABLES <sup>12</sup>**

Está demostrado que el humo quirúrgico puede contener células tumorales viables que se pueden implantar lejos del área del tejido canceroso, como ha quedado demostrado con los implantes de las mismas en las puertas de entrada de las cirugías oncológicas laparoscópicas abdominales.

Se han logrado cultivar estas células tumorales viables presentes en el humo quirúrgico en medios de cultivo especiales, donde han sobrevivido hasta 7 días. Por tanto, a pesar de que no se ha demostrado su crecimiento en el tracto respiratorio humano, no se puede descartar el riesgo de inhalación de estas células tumorales viables para el personal de quirófano.

## **2.4. VIRUS Y BACTERIAS VIABLES <sup>3,12</sup>**

### **2.4.1. Virus del Papiloma humano (VPH)**

Con un tamaño de 0.05µm, se han detectado ácidos nucleicos viables del virus del (VPH) y elevada incidencia de verrugas nasofaríngeas en cirujanos que trabajan con láser CO2. Asimismo, se ha demostrado el desarrollo de papilomas laríngeos en el personal de quirófano que ha usado láser para el tratamiento de la misma patología (papilomas cervicales, vulvares o anales) en sus pacientes.

### **2.4.2. Otros Virus**

Se ha detectado material genético de otros virus en los humos quirúrgicos sin que al parecer tengan capacidad de transmisión para el ser humano.

Estos virus detectados hasta el momento son, además del VPH, el Virus de la Inmundeficiencia Humana (VIH) y el Virus de la Hepatitis B.

### **2.4.3. Bacterias**

De la misma manera, se ha procedido a cultivar en medios para bacterias el humo quirúrgico demostrando el crecimiento de stafilococo coagulasa negativo, corinebacterias y neisseria, concluyendo los investigadores que existe un riesgo potencial de transmisión de las mismas al personal de quirófano.

Por tanto, tanto en caso de virus, especialmente el VPH que es el más estudiado, como de bacterias, existe la posibilidad de transmisión a través de los humos.

### **2.4.4. Covid-19 <sup>20,21</sup>**

El tamaño del covid se calcula entre 0.06 y 0.14µm. Dado que se ha descrito la presencia del virus Covid-19 en tracto respiratorio, digestivo, genitourinario, sangre y saliva, durante la actual pandemia por Covid-19 se ha prestado especial atención desde las asociaciones de cirujanos (como por ejemplo la sociedad americana de cirujanos gastrointestinales y endoscópicos SAGES) a la protección del personal sanitario por la posibilidad de transmisión durante los procedimientos quirúrgicos de este virus especialmente contagioso. De paso, se ha empezado a concienciar de los potenciales efectos nocivos de estos humos sobre el personal de quirófano.



Figura 8. Virus y bacterias viables identificados en el humo quirúrgico<sup>47</sup>

### **3. EFECTOS DEL HUMO QUIRÚRGICO**<sup>13,19,25</sup>

#### **3.1. Efectos Generales**

Teóricamente estos compuestos detectados pueden producir una serie de efectos agudos (irritativos) y otros crónicos. Este listado no está basado en estudios epidemiológicos, si no en los riesgos teóricos que puede producir cada uno de estos componentes del humo.

| Efectos por toxicidad aguda                            | Por toxicidad crónica                   |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Dermatitis                                             | Anemia                                  |
| Irritación ocular                                      | Leucemia                                |
| Cefalea                                                | Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica |
| Inflamación vías respiratorias (bronquitis, asma, tos) | Carcinoma                               |
| Hipoxia                                                | Enfermedades cardiovasculares           |
| Náuseas y vómitos                                      |                                         |
| Astenia                                                |                                         |

|                         |  |
|-------------------------|--|
| Trastornos neurológicos |  |
| Debilidad               |  |
| Malformaciones fetales  |  |

Tabla 6: efectos agudos y crónicos

### 3.2. Efectos específicos

Genotoxicidad: Se ha realizado el test de Ames (detecta el potencial mutagénico de un compuesto químico, es decir, su carcinogenicidad) siendo éste positivo.

Citotoxicidad: demostrado un 30% menos de crecimiento en cultivos celulares en determinadas condiciones.

### 3.3. Estudios en humanos

Aunque el humo quirúrgico puede no representar un peligro inmediato para la salud de la mayoría de las personas, los resultados a largo plazo de la exposición no han sido bien investigados. Actualmente hay poca información sobre las partículas de diferentes compuestos cuando interactúan con los gases atmosféricos, como el monóxido de carbono y el ozono, que han sido registrados a concentraciones relativamente altas dentro del humo quirúrgico.

Además, la exposición a los diferentes compuestos químicos orgánicos, inorgánicos y biológicos podría tener efectos sinérgicos y/o aditivos.

MÁS DE 150 COMPONENTES QUÍMICOS DIFERENTES QUE PUEDEN AFECTAR A DIVERSOS SISTEMAS DEL CUERPO SE HAN IDENTIFICADO EN EL HUMO QUIRÚRGICO<sup>9</sup>.



Los productos químicos se organizan de acuerdo con dónde/cómo tienen los mayores impactos

Figura 9: Resumen de compuestos químicos y posibles peligros<sup>47</sup>

**Table 2:** Some chemical compounds found in surgical smoke and their effects on health.

|                                |                                  |                              |
|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 2-Methyl furane                | Carbon monoxide                  | m-Cresol <sup>1,11</sup>     |
| 2-Methylpropanol               | Carbon sulphide <sup>1,6,7</sup> | Methane                      |
| 3-Methyl butane                | Creosote <sup>2</sup>            | PAH <sup>3</sup>             |
| 6-Methyl phenol                | D-1-decene                       | Palmitic acid                |
| Acetonitrile <sup>1</sup>      | D-2,3-dihydroindene <sup>1</sup> | Phenol <sup>1,9</sup>        |
| Acetylene                      | Ethane                           | Polypropylene <sup>1,8</sup> |
| Acroleine <sup>1</sup>         | Ethylbenzene                     | Pyridine <sup>1,11</sup>     |
| Acrylonitrile <sup>1,3,5</sup> | Ethylene                         | Pyrrole <sup>1,11</sup>      |
| Alkyl benzene sulfonate        | Formaldehyde <sup>1,2,4,8</sup>  | Styrene <sup>1</sup>         |
| Benzaldehyde <sup>1</sup>      | Furfural <sup>1,3,9</sup>        | Toluene <sup>9,11</sup>      |
| Benzene <sup>1,2,4,9,11</sup>  | Hydrogen cyanide <sup>1</sup>    | Xylene <sup>11</sup>         |
| Benzonitrile                   | Indole <sup>1</sup>              |                              |
| Butadiene <sup>1,3,4,9</sup>   | Isobutane                        |                              |

1- Skin and respiratory system irritants

2- Suspected human carcinogens

3- Confirmed human carcinogens

4- Suspected human mutagens

5- Suspected animal mutagens

6- Substances liable to affect human sperm

7- Molecules which may cause both cellular asphyxia and embryo-foetotoxicity

8- Respiratory sensitisers

9- Teratogenic in animals

10- Teratogenic in humans

11- Substances which may cause central nervous system depression

The unlabelled substances are either insufficiently characterised from the toxicological point of view or cause only asphyxiation at high concentrations.

Tabla 7: Tabla-resumen con los compuestos químicos y sus potenciales daños <sup>13</sup>

#### **4. ¿QUÉ ES LO QUE SE HA PUBLICADO A DÍA DE HOY?**

Hay estudios que comparan la toxicidad y mutagenicidad del humo quirúrgico con la de un cigarrillo: por ejemplo, calculan que la equivalencia de la destrucción de 1g de tejido equivale de 3 a 6 cigarrillos según el método empleado<sup>15</sup>. Otros, siguiendo el mismo camino, concluyen que producen un cierto riesgo para la salud del personal de quirófano, equiparable al de los fumadores pasivos. Tanto es así que interpretan que la cantidad resultante de humo de una sola intervención quirúrgica equivaldría a fumar pasivamente 1 paquete de tabaco. <sup>16</sup>

Como hemos visto previamente, sí se ha demostrado el contagio de papilomas laríngeos al personal de quirófano por los humos mediados por la transmisión de VPH.

Por lo que respecta al riesgo de cáncer, hay estudios que demuestran que este riesgo no es insignificante, un estudio<sup>17</sup> determinó que el riesgo de cáncer a los 70 años de exposición para los compuestos aromáticos policíclicos es 117 veces mayor que para la población expuesta a niveles seguros. Otro estudio detectó en el humo quirúrgico 5 compuestos cancerígenos con

concentraciones por encima de las determinadas como seguras, especialmente de benceno y 1,2 dicloroetano.<sup>18</sup> Uno de los estudios más citados a este respecto, es el de Tomita et al<sup>15</sup> realizado en Japón en 1981: se quemaron lenguas caninas con láser de dióxido de carbono y electrocauterio durante 1 minuto. Este condensado de humo se utilizó luego para mutar *Salmonella typhimurium* en un ensayo establecido. Este estudio se comparó con uno similar realizado en 1977 con cigarrillos. El humo del electrocauterio produjo 2,6 veces más mutagenicidad que el humo del cigarrillo, a pesar de sus limitaciones y sesgos ha generado conciencia del problema. Sin embargo, un estudio con cuestionarios a personal de enfermería no detectó un mayor riesgo de cáncer de pulmón en los que presentaban mayor exposición a humos quirúrgicos<sup>31</sup>.

También es relevante destacar encuestas realizadas a personal sanitario de quirófanos que muestran el grado de desconocimiento que tienen los profesionales respecto a este riesgo al que están expuestos en trabajo diario:

-Un estudio realizado en España (Murcia) repartió 122 encuestas de las que se validaron 91, obteniéndose los siguientes resultados: la mitad del personal(49,69 %) considera que el humo quirúrgico puede ser causa de riesgo laboral, pocos conocen los componentes tóxicos(27,07 %) así como la existencia de elementos cancerígenos(38 %) y el riesgo de enfermedades(53,95 %.)

-Otro en Inglaterra<sup>32</sup>: repartió 169 cuestionarios con el objetivo de medir la concienciación del personal de quirófano respecto a los riesgos de los humos quirúrgicos y las medidas preventivas implementadas. Validaron 111 cuestionarios (65%): el 97% confirmó el uso frecuente del bisturí de electrocauterio en su práctica habitual de trabajo en quirófano. Sólo el 51% de los cirujanos lo consideraba como peligroso frente al 91% del personal de enfermería. El 60% afirmaba que las medidas preventivas eran insuficientes y el 43% de los cirujanos utilizaba extractores de humo. Sólo el 7% utilizaban mascarillas diseñadas para la protección frente a estos agentes. Los autores concluyeron que: *“el conocimiento de los peligros del humo quirúrgico es limitado y es motivo de preocupación entre el personal expuesto al humo quirúrgico en los quirófanos”*.

-La NIOSH en 2011 en EEUU solamente el 15% de los quirófanos contaban con evacuadores de humos<sup>41</sup>.

Según los resultados obtenidos se constata un desconocimiento importante del personal expuesto al H.Q., sobre los riesgos que entraña la emisión de este.

De la gran cantidad de estudios publicados, podemos dilucidar que la inhalación de estas partículas tóxicas que contienen los humos parecen tener efectos negativos en la salud.

Dependiendo del diseño del estudio y los datos utilizados como referencia, los niveles de estos compuestos varían ampliamente entre los estudios.

Cito a otros autores de artículos relevantes en esta materia para remarcar la importancia del asunto:

*-No se ha producido un vínculo específico entre la exposición al humo quirúrgico y los efectos adversos para la salud en el personal de quirófano "(Ulmer, 2008)*

*"Los efectos a largo plazo del humo quirúrgico en los cirujanos y el personal de quirófano no se han determinado "(Al Sahaf, 2007)*

*"Más investigación utilizando condiciones quirúrgicas auténticas en lugar de simulaciones de laboratorio pueden producir hallazgos más convincentes para ayudar a las organizaciones como la OSHA "(Bigony, 2007)*

*"muchos cirujanos y personal de quirófano argumentan que han estado expuestos a humo quirúrgico durante años sin efectos nocivos " (Barret 2003)*

## 5. CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA

El caso concreto de la cirugía laparoscópica tiene unas peculiaridades. La cavidad abdominal se llena de aire que es CO<sub>2</sub>, donde se trabaja con una presión constante. La generación de humos dentro de esta cavidad al usar instrumental electroquirúrgico, al no ser evacuados ni dispersados, en primer lugar lo que produce es un problema de visión al cirujano, y por tanto, de seguridad para el paciente.

Este humo, se mantiene en la cavidad abdominal y se evacua a través de los trócares (por donde se introduce el instrumental quirúrgico) a demanda. Y es en este momento, cuando se liberan los gases al ambiente, que representa un peligro para el personal de quirófano. Al ser liberado a través de una válvula, este humo presenta una mayor concentración de partículas que con la cirugía abierta convencional, dado que el humo se acumula dentro de la cavidad abdominal y en un determinado momento se libera de repente a una alta velocidad en una dirección concreta. Si este jet está encarado hacia algún miembro del equipo quirúrgico, éste podría estar expuesto a un humo altamente concentrado de partículas y además, compuesto por CO<sub>2</sub> (esto se conoce como efecto chimenea en cirugía laparoscópica)

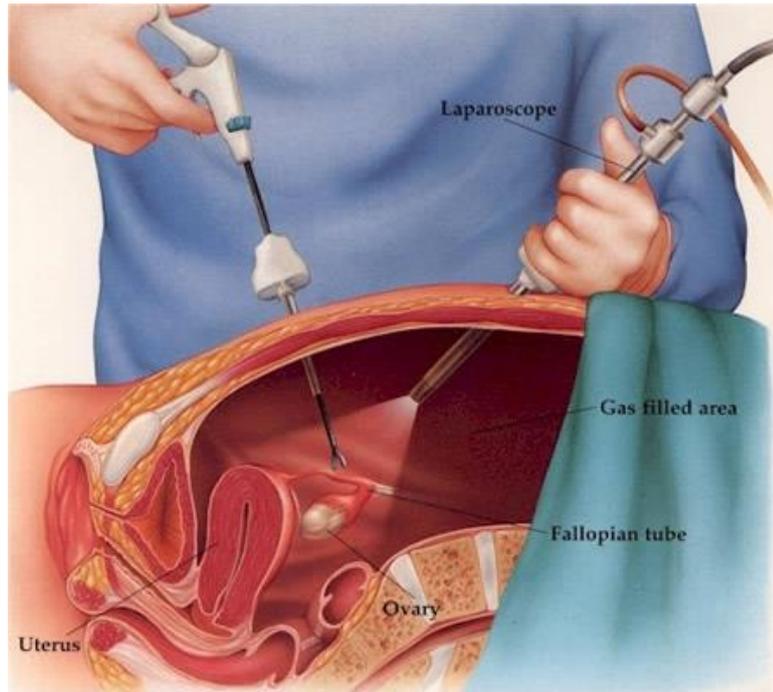


Figura 10: Ejemplo de laparoscopia con la cavidad abdominal rellena con el CO y el instrumental quirúrgico a través de los trócares. (Fuente: Internet)



Figura 11: Trócar de laparoscopia usado para introducir instrumental en la cavidad abdominal y con la válvula de escape (Fuente: Internet)

Por citar un artículo, por ejemplo <sup>22</sup> donde Choi y colaboradores analizan los gases a nivel de la salida del trocar de laparoscopia. Encontraron que 5 carcinogénicos (etanol, 1,2-dicloroetano, benceno, etilbenceno y estireno) estaban con concentraciones que determinaban un riesgo mayor que insignificante. Las concentraciones de 1,2-dicloroetano y benceno se encontraban a un nivel de riesgo inaceptable.

A pesar de lo que hemos visto, realmente existe muy poca evidencia de los efectos que realmente estos humos producen en la práctica real. En primer lugar, porque es hay muchos procedimientos quirúrgicos, dependen del material con el que se originen y el tejido donde se

aplique. También es importante el hecho de que la mayoría de los estudios son realizados in vitro o sobre animales y la extrapolación a la práctica real no es sencilla.

Además, cabe mencionar la dificultad y la disparidad que se encuentra en ocasiones con las cantidades medidas. Hay estudios que encuentran múltiples compuestos por encima de los niveles considerados como seguros, mientras que otros se desdican encontrando valores seguros de los mismos. Para realizar el procedimiento correctamente se han de tomar múltiples mediciones (a la altura de la zona de respiración, en zonas más alejadas, etc) que por la propia idiosincrasia de un quirófano en ocasiones no es posible realizar de manera ortodoxa. Lo que está claro es que los humos quirúrgicos están formados por varias sustancias diferentes que se conoce que son tóxicas y alguna incluso carcinogénica, sin embargo, los niveles medidos varían entre los diferentes estudios.

No obstante, de todo esto se desprende que, como mínimo existe un riesgo potencial para la salud de los trabajadores sanitarios que están expuestos a estos humos.

También es conveniente resaltar el hecho de que los propios pacientes están expuestos a estos tóxicos, si bien los tiempos de exposición son cortos, se han hallado niveles elevados de benceno y tolueno en la orina de pacientes intervenidos quirúrgicamente<sup>23</sup> durante el postoperatorio, si bien estos efectos parecen ser menos importantes que los derivados de la exposición crónica de los trabajadores expuestos.

Además de lo expuesto anteriormente, no hay que olvidar las molestias que produce sobre el personal expuesto. En una encuesta realizada por la NIOSH<sup>23</sup> en 2006 con un 80% de participación obtuvieron que el personal describió: cefalea 16%, quemazón en nariz y garganta 10%, irritación ocular 10%, tos 10% y el 58% sensación de discomfort por el olor desagradable del humo.

## **6. DISTRIBUCIÓN DEL HUMO POR EL QUIRÓFANO<sup>3</sup>**

El que ha estado en un quirófano sabe que se puede oler el humo, que tiene un olor característico, desde cualquier parte del mismo. Es una creencia común pensar que los miembros del equipo que están más cerca del paciente y por tanto, del foco, tienen más riesgo de inhalar los humos que los que se encuentran más alejados.

Se ha visto, que 5 minutos después de usar un bisturí ultrasónico (sin usar ningún sistema de aspiración de humos), se pasa de una base de 60.000 partículas por pie cúbico a 1 millón. Esta concentración se mantenía mientras se usara el bisturí ultrasónico. Además, altas concentraciones de partículas se detectaron por todo el quirófano, indicando que todo el personal, y no solo el más cercano, están expuestos a altas concentraciones de partículas potencialmente dañinas. Los investigadores calcularon que se tarda del orden de 20 minutos en que la ventilación del quirófano devuelva el aire a su base de 60.000 partículas por pie cúbico.

Otro estudio también explica por qué todo el personal de quirófano está expuesto y no solo los que están más cerca del foco. Midieron la distancia y velocidad con la que se desprendían las partículas al aplicar un láser sobre un modelo animal. Hallaron una velocidad de 18m/s llegando a una distancia de 0.87m

## **7. NORMATIVA SOBRE LOS HUMOS QUIRÚRGICOS**

### **7.1. España**

En España, a día de hoy, no existe normativa específica que regule esta problemática.

De manera genérica nos remitimos a la Ley de Riesgos Laborales 31/1995 del 8 de Noviembre.

La normativa actual de prevención se limita a las medidas de control de calidad ambiental en recintos hospitalarios, que en los quirófanos son específicas.

Extraído de la *NTP 859: Ventilación general en hospitales*<sup>24</sup>:

*“En los hospitales, la ventilación tiene que cubrir las necesidades clínicas y proporcionar las condiciones higiénicas adecuadas con el fin de proteger a pacientes y profesionales que realizan sus tareas en este ámbito y a su vez, realizar el tratamiento térmico del ambiente. Desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales, la ventilación de los lugares de trabajo es una medida de protección colectiva que permite eliminar o reducir el contenido de agentes contaminantes que puedan estar presentes en el ambiente.”*

Los quirófanos reciben un trato diferencial del resto del hospital por su especial exigencia de calidad ambiental y en función de sus características específicas de utilización.

La norma UNE 100713:2005 clasifica a los quirófanos como locales de clase I, esto quiere decir: condiciones muy elevadas de asepsia. Esto se traduce en un caudal mínimo de aire de 2400m<sup>3</sup>/h para garantizar una concentración media de gérmenes producida exclusivamente en el quirófano, sin que existan diferencias en los diferentes puntos del mismo.

La norma UNE-EN ISO 14644-1:2000 a su vez clasifica los quirófanos según las características de la intervención y las infecciones postoperatorias.:

| Tipo quirófano | UNE 100713:2005 | UNE-EN ISO 14644-1:2000 | Denominación quirófano                              | Tipo de intervención                                                                                            |
|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Clase I         | ISO clase 5             | Quirófanos de alta tecnología.<br>Cirugía especial. | Transplantes de órganos, cirugía cardíaca, cirugía vascular, cirugía ortopédica con implantes, neurocirugía,... |
| B              | Clase I         | ISO clase 7             | Quirófanos convencionales                           | Cirugía convencional y de urgencias.<br>Resto de operaciones quirúrgicas.                                       |
| C              | Clase I         | ISO clase 8             | Quirófano de cirugía ambulatoria                    | Cirugía ambulatoria.<br>Salas de partos.                                                                        |

Tabla 8: tipos de quirófano y clasificación del mismo (extraída de la NPT 859)

| Tipo de quirófano | Caudal mínimo de aire impulsado                                        | Movimientos/hora (MH) | Temperatura Humedad              | Presión          | Filtros   |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------|-----------|
| Clase A           | 2400 m <sup>3</sup> /hora<br>1200 m <sup>3</sup> /hora (aire exterior) | Mínimo 30             | 18°C-26°C<br>45- 55 % de humedad | + 20 Pa a + 25Pa | F5/F9/H14 |
| Clase B           |                                                                        | Mínimo 20             | 22°C-26°C<br>45- 55 % de humedad |                  | F5/F9/H13 |
| Clase C           | 1200 m <sup>3</sup> /hora (aire exterior)                              | Mínimo 15             |                                  |                  |           |

Tabla 9: Caudal de ventilación, movimientos por hora del aire, temperaturas, presión y filtros indicados para quirófanos (extraída de la NPT 859)

Esta norma UNE-EN ISO 14644-1:2000 establece: “la ventilación puede ser de flujo unidireccional o turbulento y el número de aportaciones de aire exterior tiene que ser igual o superior a 20 renovaciones hora. En los quirófanos de clase A, se admite tanto el sistema unidireccional como turbulento, aunque se recomienda el sistema unidireccional. En este caso se admite la recirculación del aire, que debe ser del mismo quirófano y tratada de igual manera que el aire exterior. Se recomienda un mínimo de 35 movimientos/h. En los quirófanos de clase B y C se admite el régimen turbulento y en caso de los quirófanos de clase B los movimientos del aire deben ser de 20 por hora, siendo el aire del 100% exterior. En los quirófanos de clase C los movimientos de aire tienen que ser iguales o superiores a 15 por hora y también con un aire 100% exterior.”

Sin embargo, esta norma UNE-EN ISO 14644-1:2000 ha sido anulada y sustituida por la UNE-EN ISO 14644-1:2016, que recoge la clasificación de la limpieza que debe existir en el aire de las salas blancas. Habiendo una actualización en cuanto al número y tamaño de partículas aceptadas para cada categoría (siendo la más afectada la clase ISO 5)

|              | $\geq 0.1\mu\text{m}$ | $\geq 0.2\mu\text{m}$ | $\geq 0.3\mu\text{m}$ | $\geq 0.5\mu\text{m}$ | $\geq 1\mu\text{m}$ | $\geq 5\mu\text{m}$ |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| ISO Class 1  | 10                    | 2                     |                       |                       |                     |                     |
| ISO Class 2  | 100                   | 24                    | 10                    | 4                     |                     |                     |
| ISO Class 3  | 1.000                 | 237                   | 102                   | 35                    | 8                   |                     |
| ISO Class 4  | 10.000                | 2.370                 | 1.020                 | 352                   | 83                  |                     |
| ISO Class 5  | 100.000               | 23.700                | 10.200                | 3.520                 | 832                 | 29                  |
| ISO Class 6  | 1.000.000             | 237.000               | 102.000               | 35.200                | 8.320               | 293                 |
| ISO Class 7  |                       |                       |                       | 352.000               | 83.200              | 2.930               |
| ISO Class 8  |                       |                       |                       | 3.520.000             | 832.000             | 29.300              |
| ISO Class 9  |                       |                       |                       | 35.200.000            | 8.320.000           | 293.000             |
| ISO Class 10 |                       |                       |                       | 352.000.000           | 83.200.000          | 2.930.000           |

Tabla 10: Límites máximos de concentración de partículas por metro cúbico ( $\text{m}^3$ ) de aire en la nueva EN ISO 14644-1:2016 (fuente: <https://labsom.es/>)

La norma UNE 100713:2005 indica “*que aunque con las tres etapas de filtración se obtiene una buena calidad del aire, se debe impulsar un caudal mínimo de aire exterior de 1200  $\text{m}^3/\text{h}$ , para mantener la concentración de los gases de anestesia y desinfectantes dentro de un nivel ambiental aceptable ( $\leq 0,4$  ppm) en locales clase I, como es el caso de los quirófanos. Esta norma indica también que, para quirófanos con altas exigencias respecto a gérmenes, es necesario impulsar un mínimo de 2400  $\text{m}^3/\text{h}$  cuando están dotados de sistema de difusión por mezcla de aire, con un mínimo de 20 movimientos por hora. La norma UNE-EN 13779:2008, sobre la ventilación de edificios no residenciales, indica como requisito para la climatización la recirculación del aire interior, y que el caudal de aire exterior aportado debe establecerse en función de la tasa de aportación de contaminante al ambiente de quirófano y del valor límite ambiental (ventilación por dilución). Aunque, según las distintas normas, existen disparidad de criterios no se exige que el aire de ventilación de quirófanos sea totalmente exterior. Deberá serlo en la medida que se evite una concentración de contaminantes químicos por encima de los niveles establecido como límites ambientales, como son los valores límite de exposición profesional que se pueden consultar en la NTP n° 606 sobre exposición laboral a gases anestésicos. En la tabla 7 se resumen los caudales de ventilación, así como las condiciones termo-higrométricas de sobrepresión y tipos de filtro según la clase de quirófano.*”

En España, serían también de aplicación las normas europeas. La legislación europea tiene como objetivo minimizar los riesgos para la salud en el lugar de trabajo. Por lo que respecta a los humos quirúrgicos, no hay una legislación específica, pero sí a respecto de:

-RD 664/97 del 12 Mayo, sobre la protección de los trabajadores frente a riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos en el trabajo.

-RD 665/97 del 12 Mayo, sobre la protección de los trabajadores frente a riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinogénicos y mutagénicos en el trabajo y su reciente actualización el RD 1154/20 del 22 de Diciembre.

Se clasifican los agentes con riesgo biológico en 4 grupos según el nivel de riesgo para la salud y las posibilidades de tratamiento y contagio.

Se establece un listado por valores límite de exposición profesional (Valores Límite Ambientales, VLA-ED y VLA-EC)

Estas directivas hacen referencia a los requerimientos mínimos que deben trasladarse a la legislación nacional de cada país. Estos requerimientos mínimos son:

- Evaluar los riesgos que plantean estos agentes.
- Reducir el riesgo para los trabajadores mediante: eliminación/sustitución, prevención de la exposición y control, formación e información a los trabajadores.
- Adecuar programas de vigilancia de la salud a los riesgos evaluados.

Cuando se trata de actividades que podrían suponer un riesgo de exposición a agentes biológicos, la naturaleza, el grado y la duración de la exposición de los trabajadores debe determinarse para evaluar los riesgos para la salud o la seguridad de los trabajadores y determinar las medidas preventivas requeridas.

Como vemos, estas medidas están orientadas para controlar las situaciones de asepsia y contribuir a la eliminación de los gases anestésicos. Sin embargo, estas medidas para la renovación del aire no son suficientes para eliminar el riesgo generado por la presencia de humos quirúrgicos, por lo que son necesarias adoptar otras medidas preventivas.

## 7.2. ¿Y qué normativa hay a nivel internacional en otros países? <sup>3, 25-30</sup>

Actualmente no hay un consenso claro sobre cómo abordar este tema, limitándose a unas simples guías de recomendaciones y buenas prácticas por diferentes asociaciones y entidades, quedando en manos de cada hospital la manera de afrontar este problema.

**AORN** (Association of periOperative Registered Nurses)

AORN ha publicado guías y recomendaciones sobre los humos quirúrgicos desde 1994 y desde 1996 ha acogido conferencias sobre el tema para concienciar a los profesionales y a las distintas organizaciones. Ha establecido recomendaciones sobre los humos producidos por bisturí de electrocauterio, láser y ultrasónicos y concluyendo que el humo quirúrgico debe ser evacuado y filtrado.

Las recomendaciones de la AORN se usan en quirófanos de todo el mundo. Además, colabora con la OSHA y otras organizaciones para conseguir que los quirófanos sean lugares seguros para los trabajadores y pacientes, preocupándose no solo por sus 40.000 socios, si no por cualquier persona que ejerza en lugares donde se realicen procedimientos quirúrgicos invasivos.

Su guía “Guideline Implementation: Surgical Smoke Safety” de 2017 se puede resumir en estos 4 puntos:

- La organización de atención médica debe proporcionar un ambiente de trabajo libre de humo.
- El equipo quirúrgico debe evacuar todo el humo quirúrgico.
- Los miembros del equipo quirúrgico deben recibir educación continua y verificación de la competencia en cirugía seguridad contra el humo.
- Las políticas y procedimientos para la seguridad del humo quirúrgico deben ser desarrolladas, revisadas periódicamente y según sea necesario.
- El personal quirúrgico debe asegurar la calidad y mejora del desempeño para mejorar cumplimiento de la evacuación de humos quirúrgicos.

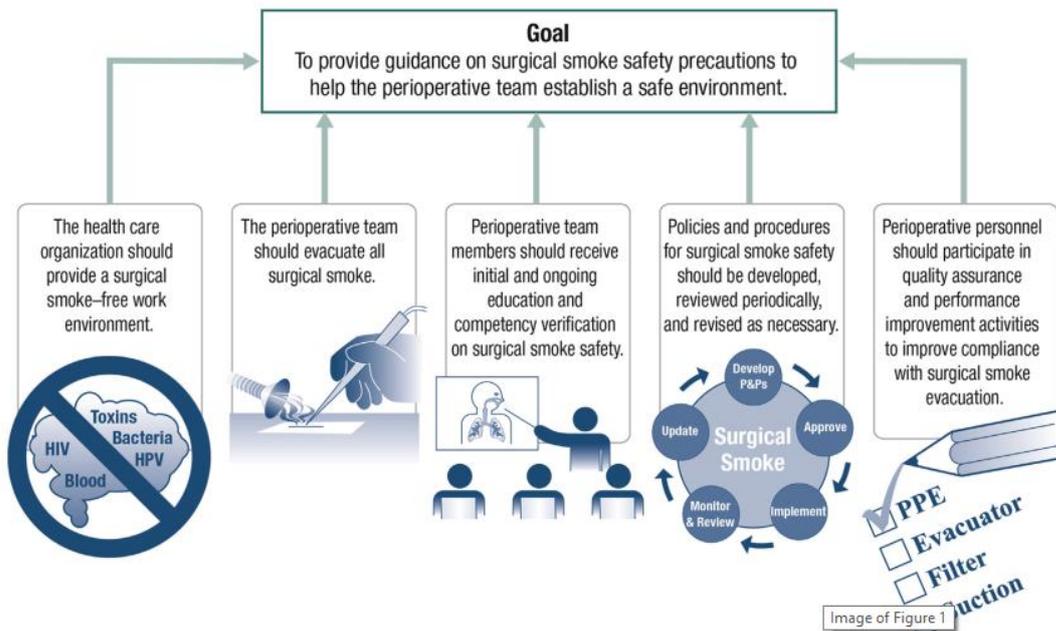


Figura 12: Esquema de actuación que propone la AORN<sup>3</sup>

## OSHA

Es una agencia federal del gobierno encargada de que se cumplan las leyes y reglamentos de EEUU en lo que respecta a la prevención de riesgos laborales. Especifica que los empresarios deben crear entornos seguros para sus trabajadores, obligando que los entornos de trabajo estén libres de peligros que causen o puedan causar daños a los trabajadores.

La Occupational Safety and Health Administration (OSHA) estima que hay 500.000 trabajadores expuestos anualmente en EEUU a los humos quirúrgicos cada año.

Como recomendaciones (recordemos que se trata de recomendaciones, en ningún caso obligaciones) para reducir el riesgo:

- Controles de ingeniería: ventilación del quirófano con 20 intercambios de aire/hora
- Controles de prácticas laborales: por ejemplo, con dispositivos de aspiración de humos.
- Controles administrativos: estableciendo guías, políticas, formación y educación de trabajadores.

Como veremos luego más adelante por lo que respecta a las medidas preventivas, la OSHA por ejemplo no menciona el uso de sistemas de evacuación de humos ni filtros.

### **NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)**

Forma parte del Departamento de Salud y Recursos Humanos de EEUU. Investiga potenciales enfermedades profesionales y riesgos para la salud de los trabajadores y hace recomendaciones para la OSHA. Carece de autoridad legal para emitir leyes, realiza actividades de vigilancia de la salud y evaluaciones de riesgos, así como emite la revista *Hazard Alerts*.

En primer lugar, reconoce la existencia del peligro potencial de los humos quirúrgicos y propone la utilización de:

-Técnicas de ventilación general: no son capaces por si mismas de capturar los contaminantes generados en la fuente.

-Técnicas de ventilación local: evacuadores de humos y sistemas de succión con los filtros apropiados. Éstos deben ser utilizados a 5cm o menos de distancia de la fuente productora de los contaminantes y con una potencia de aspiración de 100 - 150 pies cúbicos por minuto.

Una de las cosas que llama la atención de esta guía de la NIOSH es que data de 1996, sin que en 25 años se haya actualizado ni se haya establecido una normativa legal al respecto.

### **ANSI (American National Standards Institute)**

La ANSI es un grupo multidisciplinar compuesto por diversas organizaciones y sociedades que desarrollan estándares para garantizar la salud y la seguridad de los consumidores, así como la protección del medio ambiente.

En este caso reconoce la emisión de contaminantes producidos por los dispositivos láser y destaca que los dispositivos electroquirúrgicos (como el bisturí de cauterio o ultrasónico) podrían producir de igual modo contaminantes. Todos ellos deben ser evacuados del quirófano.

### **CDC (Centers for Disease Controls and prevention)**

Recomiendan 3 métodos para disminuir la exposición de los trabajadores:

-Usar sistemas mecánicos de evacuación exhaustiva local de humos con sistemas de filtración de alta eficiencia cuando se traten tejidos potencialmente infectados por el virus del papiloma humano.

-Los sistemas de aspiración de pared pueden evacuar los humos quirúrgicos.

-Utilización de EPIs tipo mascarilla N95 o N100.

### **ECRI**

Organización sin ánimo de lucro que evalúa productos utilizados para cuidados de la salud, proporciona recomendaciones sobre el uso seguro de estos productos, y servicios de consulta, evaluación y recursos educativos para organizaciones sanitarias.

A pesar de la falta de regulación a nivel nacional, recomienda la evacuación y filtración de los humos quirúrgicos.

### **ANA (American Nurses Association)**

Ha colaborado activamente con AORN desde 1996 cuando comenzaron a preocuparse por el tema de los humos quirúrgicos. La ANA ha instado a los enfermeros y enfermeras a ser proactivos y trabajar activamente con los funcionarios del gobierno para desarrollar guías específicas sobre el manejo de los humos. También ha contactado con funcionarios del gobierno y con la OSHA al respecto.

### **The Joint Commission**

Fundada en 1951, evalúa organizaciones sanitarias y programas de salud, así como acreditaciones de instalaciones sanitarias. Los hospitales solicitan de manera voluntaria. Los hospitales buscan de manera voluntaria la acreditación por esta entidad por cuestiones de calidad asistencial.

Desde 2004 colabora con la OSHA para abordar problemas de seguridad y salud en las instituciones sanitarias. Esta colaboración está centrada en reducir la exposición a agentes biológicos y contaminantes en el medio sanitario.

## **8. MEDIDAS PREVENTIVAS**

Debemos recordar, que tal como establece la Ley de Riesgos Laborales 31/1995 del 8 de Noviembre, en su Art 14, *“Los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia*

*de seguridad y salud en el trabajo. Es deber del empresario de protección de los trabajadores frente a los riesgos laborales.”*

## **8.1. Planificación de las medidas preventivas**

El primer paso para desarrollar un programa de medidas preventivas frente a los humos quirúrgicos es lograr un compromiso de toda la organización para proteger a los trabajadores y pacientes de los efectos potencialmente dañinos de estos humos.<sup>3</sup>

Se debe convocar a un equipo compuesto por representantes de todos los trabajadores implicados, esto incluye: cirujanos de todas las especialidades quirúrgicas, anestesistas, enfermería, auxiliares de quirófano, celadores, personal de limpieza y administrativo, así como los mandos. Involucrar a todo el personal para que participen activamente es fundamental para lograr el objetivo y asegurar el éxito.

Las medidas preventivas correspondientes deben ser ponderadas, valoradas e implantadas según los criterios, preferencias y singularidades de cada quirófano. Algunos puntos importantes a considerar son<sup>3</sup>:

- Costes
- Eficacia
- Diseño
- Funcionamiento
- Ruido generado
- Ergonomía

Las políticas y procedimientos bien definidos asignan autoridad y responsabilidad para la práctica clínica segura y ayudan a garantizar que se brinde el más alto nivel de atención al paciente. Estas políticas deben ir encaminadas a:

- Evacuar todo el humo quirúrgico
- Seleccionar los sistemas de evacuación de humos más adecuados para cada procedimiento
- Usar filtros de 0.1µm
- Adecuado posicionamiento del extractor de humos.
- Usar equipos de protección personal adecuados

- Informar y formar a los trabajadores implicados
- Establecer un programa de vigilancia de la salud
- Evaluación del correcto cumplimiento del programa de medidas implantado

## **8.2. Formación de los trabajadores**

Para potenciar las buenas prácticas entre los trabajadores hay que comenzar por informales sobre los riesgos potenciales y formarles sobre cómo prevenirlos.<sup>26</sup>

Es fundamental informar a los trabajadores:

- Qué es el humo quirúrgico.
- Cómo funcionan los dispositivos electroquirúrgicos que lo generan.
- Peligros potenciales para su salud y la de los pacientes.
- Selección del sistema de evacuación de humos más adecuado.
- Adecuada instalación y uso del sistema de evacuación elegido.
- Elección de los equipos de protección personal adecuados.
- Eliminación adecuada de los filtros, etc una vez finalizada la intervención quirúrgica.

Todo el personal debe ser formado antes de que se implementen nuevas medidas preventivas adicionales o se introduzcan nuevas técnicas o instrumental quirúrgico.

Es importante resaltar también que, dado que el humo quirúrgico supone un riesgo para todo el equipo y para el paciente, la decisión sobre si usar o no un sistema de extracción de humos no debe competir a una decisión personal de un profesional. Si se general humos, éstos deben ser evacuados.<sup>26</sup>

## **8.3. Sistemas de evacuación de humos**

### **8.3.1. Sistemas de ventilación general**

Recordamos una vez más, que en España la normativa actual de prevención se limita a medidas de control respecto a la calidad ambiental en hospitales y quirófanos. (como hemos visto en las páginas 27-31) que básicamente se resumen en unas 15-20 renovaciones del aire/hora y una presión positiva respecto al entorno. Todo ello para evitar la acumulación de gases anestésicos y

otros productos en el quirófano. Sin embargo, esta medida aislada, que a nivel de la higiene de trabajo la podríamos considerar como un método de ventilación general o por dilución es insuficiente para afrontar el problema de los humos quirúrgicos. Además que tal como se describe en el libro de referencia<sup>33</sup> que hemos utilizado a lo largo de este curso, este método debe ser utilizado cuando el contaminante no es muy tóxico, presenta una emisión uniforme y localizada durante el proceso.

Técnica y teóricamente, la extracción del humo quirúrgico en su punto de origen, o cerca del mismo es la medida preventiva más eficiente. Siguiendo lo que hemos ido desarrollando en el máster<sup>33</sup> los sistemas de ventilación local o por extracción localizada son los métodos más utilizados para el control del contaminante en el foco productor (es aplicar el mismo concepto que se utiliza en la industria). De esta manera, al capturar el contaminante en la zona próxima a su emisión logra evitar la difusión del mismo por el ambiente, utilizando volúmenes mucho menores que los métodos que usan la ventilación por dilución.

Por tanto, a esta ventilación general se deben sumar sistemas de ventilación/extracción local del humo. Como hemos visto, sí existe una normativa al respecto de los sistemas de ventilación general de los quirófanos, encaminados a disminuir la contaminación por microorganismos y favorecer la dispersión de los gases anestésicos. Sin embargo, al no existir estándares, cada hospital usa los medios que considera o que dispone para evacuar los humos, resultando de esta manera en una variabilidad de los procedimientos utilizados.

### 8.3.2. Sistemas de aspiración de pared



Figura 13: Sistema de aspiración de pared en un quirófano (Fuente: Internet)

Son los sistemas más sencillos de utilizar en un quirófano para evacuar el humo. Éstos no tienen mucha capacidad de aspiración, pues aspiran menos de 140 litros por minuto<sup>3</sup>, por lo que sólo serían útiles para intervenciones con poca producción de humo.

Si se utiliza este sistema, también debe usarse un filtro en línea para proteger al personal de quirófano.



Figura 14: Filtro en línea para sistemas de aspiración de pared. (Fuente: Internet)

Para evacuar los humos mediante un sistema de aspiración de pared nos tenemos que asegurar de:

- Utilizarlos siguiendo las instrucciones del fabricante
- Sustituirlos en función de su tiempo de vida estimado
- Asegurar que el sistema de tubos de aspiración y filtros situados fuera del quirófano funcionen correctamente
- Después de su uso, deben ser desechados de manera adecuada.

### 8.3.3. Dispositivos móviles de captura de humo

Estos dispositivos existen en el mercado de la mano de los fabricantes de dispositivos electroquirúrgicos. Normalmente están integrados en el mismo instrumento (bisturí o láser), pero también pueden estar aparte.

Son la opción más versátil para utilizar en un quirófano.

Suelen estar compuestos por:

- El dispositivo de aspiración

- Sistema de aspiración de partículas y gases/vapores
- Conexión al sistema de succión

Los factores de los que depende la capacidad del sistema para aspirar el humo son:

- Potencia de aspiración del dispositivo (flujo de litros/min)
- Distancia desde el sistema de succión al foco emisor
- Diámetro del tubo de aspiración
- Cantidad de humo generado

Según la NIOSH<sup>29</sup> estos sistemas de succión deben tener la suficiente potencia de aspiración: de 0,5 a 0,75m/s. Lo cual equivale, en función del diámetro del tubo de 0,6 a 0,9m<sup>3</sup>/min si es de 2cm.

La aspiración es generada por una turbina giratoria (igual que por ejemplo, las aspiradoras), y la potencia depende de la resistencia al flujo del aire del sistema de filtración como del diámetro del tubo de aspiración. Esto es relevante por dos motivos: en primer lugar porque si hay una obstrucción del tubo de aspiración, la potencia de aspiración puede disminuir considerablemente, por otro lado, en que este sistema genera ruido, lo cual debe ser considerado a la hora de elegir un sistema de extracción de humos.

Para este método, el sistema de filtración más eficaz es el ULPA (Ultra-Low Particulate Air), estos filtros capturan partículas de hasta 0.12µm con una efectividad del 99.999%, por lo que en teoría, solo 1 partícula de cada 1.000.000 se escaparía de estos filtros. Están formados por 3 capas de filtros, de tal manera que la primera captura partículas grandes, la segunda sería el filtro ULPA y la última está compuesta de carbono que elimina partículas tóxicas presentes en los humos quirúrgicos.

Por detrás de estos filtros en segundo lugar se encuentran los filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) que filtran hasta el 99,97% de partículas de 0,3µm

La mayoría de instrumentos actualmente usan una combinación de aspiración y filtración mecánica del humo.

Dado que estos sistemas se pueden acoplar a la punta del instrumento electroquirúrgico utilizado, aumentan su eficacia al evitar la dispersión del humo y actuar muy cerca del foco emisor. La ECRI recomienda que estos sistemas actúen a < 2cm del foco.

Es de vital importancia para el correcto funcionamiento de este sistema cambiar regularmente los filtros por dos razones:

- Las partículas se pueden aglomerar en los filtros y posteriormente, éstos romperse y liberarse al medio ambiente.
- Pueden crecer microorganismos, especialmente cuando hay retenidos compuestos orgánicos, y sobretodo favorecido por la humedad.

Como ejemplo citar el artículo de Seipp et al<sup>34</sup>, donde evalúan la eficacia y nivel de sonoridad de 5 extractores portátiles de humo, donde recrean a nivel de laboratorio unas condiciones experimentales lo más parecidas posibles a un quirófano real. De este artículo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los autores en primer lugar citan a la NIOSH describiendo como método más efectivo la ventilación local para minimizar el riesgo por humos quirúrgicos.
- Describen la dificultad para alcanzar las condiciones ideales de uso de cada aspirador son difíciles porque dependen de varios factores como hemos visto previamente (cantidad de humo, flujo de aspiración, distancia, etc).
- La máxima potencia de aspiración se asocia con un aumento considerable del ruido generado, citando la norma ISO 11690-1 que limita  $L_{EX, 8h}$  de 35-45dB para actividades que requieren alta concentración, como es el caso de un quirófano. En este caso los 5 aparatos excedían este límite cuando se usaban a media o máxima potencia.
- Eficacia del 99% lo cual es muy eficiente pero por sí solo insuficiente. Se debe usar además ventilación general y medidas de protección personal.

A pesar de que el sistema de aspiración y filtración mecánica con filtros HEPA y ULPA son la base de los sistemas actuales de evacuación de humos, nuevos sistemas de filtración se están desarrollando para el mercado.



Figura 15: Bisturí electrocauterio (A) con aspirador integrado (B) (Fuente: Internet)

Ejemplo en un estudio de la influencia de los sistemas evacuadores de humos en la concentración de compuestos químicos<sup>35</sup>. En este caso se utiliza un sistema con una potencia de aspiración de 550l/min y con un filtro ULPA combinado con un filtro de carbono activo. En este caso sobre diferentes tejidos (hígado y músculo) sin sistema de evacuación de humos y con evacuador a diferentes potencias de aspiración (60% 100%)

**Table 1:** Influence of the SES on the concentration of VOCs

|                                                                | Liver<br>No SES | Liver<br>SES 60% | Liver<br>SES 100% | Muscle<br>No SES | Muscle<br>SES 60% | Muscle<br>SES 100% | PEL (ppb) |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|-----------|
| 1,3-Butadiene (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> ) (ppb)           | 19.06 ± 1.54    | 15.57 ± 0.63     | 14.21 ± 0.07      | 15.40 ± 0.65     | 13.17 ± 0.02      | 13.25 ± 0.04       | 5         |
| Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ) (ppb)                 | 6.21 ± 1.33     | 2.59 ± 0.49      | 1.16 ± 0.05       | 2.45 ± 0.37      | 1.33 ± 0.04       | 1.09 ± 0.02        | 0.5       |
| Furfural (C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ) (ppb) | 14.34 ± 2.97    | 5.29 ± 1.13      | 0.99 ± 0.11       | 0.49 ± 0.07      | 0.21 ± 0.02       | 0.18 ± 0.00        | 2         |

Values are presented as mean ± 1 SD.

PEL: permissible exposure limit; SD, standard deviation; SES: smoke evacuation system; VOC's: volatile organic compounds.

Tabla 11: Diferencia de concentraciones halladas según tejido aplicado y aplicación o no de sistema de evacuación de humos (SES) funcionando al 60% o 100%.<sup>35</sup>

Estos filtros HEPA (H13 y H14) y ULPA (U15, U16, U17) deben cumplir la normativa europea EN 1822.

| Filter Class | Integral Value |                 | Local Value    |                 |
|--------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|              | Efficiency (%) | Penetration (%) | Efficiency (%) | Penetration (%) |
| E10          | ≥ 85           | ≤ 15            |                |                 |
| E11          | ≥ 95           | ≤ 5             |                |                 |
| E12          | ≥ 99.5         | ≤ 0.5           |                |                 |
| H13          | ≥ 99.95        | ≤ 0.05          | ≥ 99.75        | ≤ 0.25          |
| H14          | ≥ 99.995       | ≤ 0.005         | ≥ 99.975       | ≤ 0.025         |
| U15          | ≥ 99.9995      | ≤ 0.0005        | ≥ 99.9975      | ≤ 0.0025        |
| U16          | ≥ 99.99995     | ≤ 0.00005       | ≥ 99.99975     | ≤ 0.00025       |
| U17          | ≥ 99.999995    | ≤ 0.000005      | ≥ 99.9999      | ≤ 0.0001        |

Tabla 12: eficacia en retención de partículas de tamaño mayor o igual a 0,3 µm Según la Norma EN 1822

Dado que esta norma EN 1822 data de finales de los 90, recientemente se ha creado la norma ISO 29463 que actualiza en algunos puntos la anterior norma, sin sustituirla.

| Designación                                                        | Grupos de filtros según ISO 29463 |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Filtro EPA (filtro de eficiencia para partículas en el aire)       | ISO 15 E - ISO 30 E               |
| Filtro HEPA (filtro de alta eficiencia para partículas en el aire) | ISO 35 H - ISO 45 H               |
| Filtro ULPA (filtro de aire de ultra baja penetración)             | ISO 50 U - ISO 75 U               |

Tabla 13: Nueva clasificación de los filtros según ISO 29463

### 8.3.4. Sistemas de filtración eléctrica

Los precipitadores electrostáticos se usan para tratar la contaminación del aire en la industria, especialmente en las que se producen humos y gases procedentes de combustibles fósiles.

Utilizan las fuerzas eléctricas para la remoción de la fracción sólida de un efluente, dirigiendo las partículas hacia las placas del colector. Típicamente consisten en 2 electrodos en forma de cable o placa: uno cargada con energía positiva y otro con energía negativa. Las partículas del humo pasan por un electrodo, cargándose de energía. Posteriormente pasan por el otro electrodo que retiene las partículas cargadas por tracción electrostática.<sup>39,40</sup> Las partículas deben ser eliminadas de las placas y recolectadas en una tolva, evitando que se reencaucen en la corriente gaseosa.

Dado que la energía eléctrica de estos filtros les permite trabajar a distancias mayores que los filtros mecánicos clásicos, les permite ser menos densos y por tanto ofrecer menos resistencia. Esta menor resistencia hace que sean más adecuados para mover mayores caudales de gas.

Es por su mecanismo de acción que deben limpiarse ocasionalmente para asegurar que funcionan correctamente.

Su eficiencia puede aumentar al aumentar la carga eléctrica de los electrodos y disminuir cuando aumenta la velocidad del gas.<sup>39</sup>

Existen dispositivos evacuadores de humos que usan la precipitación electrostática para atraer las partículas cargadas del humo quirúrgico y atraerlo hacia la pared abdominal del paciente.

Uno de los principales inconvenientes de este sistema es la liberación de ozono durante la descarga eléctrica. Esta liberación depende de: material del electrodo, temperatura y de la caída de voltaje. Los efectos del ozono sobre el organismo son: falta de aire, dolor torácico y disminución de la capacidad pulmonar. Pese a que algunos estudios reportan niveles de ozono por encima de los recomendados, parece ser que el uso de filtros de carbono lo neutraliza, por lo que el uso de filtros electrostático combinados con filtros de carbono es muy recomendable.<sup>41</sup>

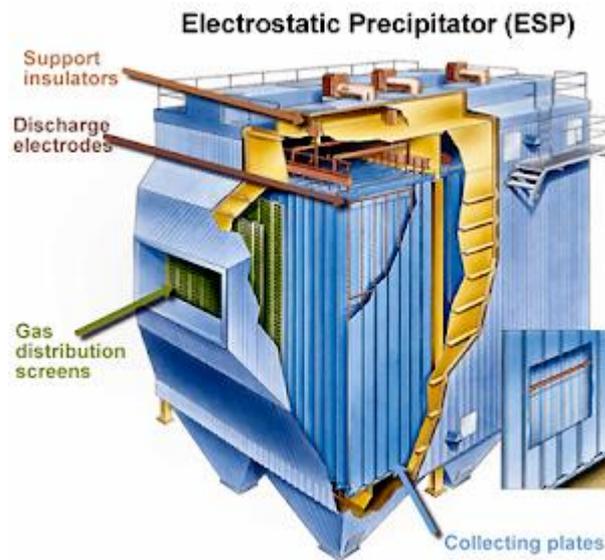


Figura 16: Filtro electrostático (Fuente: Internet)

| FILTRO                | EFICIENCIA                                                       | VENTAJAS                                 | INCONVENIENTES                                        | COSTE                                                                                  |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>MECÁNICO</b>       | ~ 100% eficiencia para >1µm y nanopartículas                     | Alta eficiencia para capturar partículas | Usa alta energía por el motor                         | Coste de equipo bajo<br><br>Alto mantenimiento por uso de energía y cambios de filtros |
| <b>ELECTROSTÁTICO</b> | Eficiencia ~ 100% basado en la masa pero 50% para nanopartículas | Bajo gasto energético                    | Nanopartículas escapan por no cargarse eléctricamente | Coste equipo alto pero bajo mantenimiento                                              |

Tabla 14: Diferencias entre Filtro mecánico y filtro electrostático (Fuente: propia)

#### 8.4. Cirugía laparoscópica: caso especial

El caso de la laparoscopia y los humos, como hemos descrito previamente, merece un trato diferente. Recordemos que en el caso de la laparoscopia el humo generado se acumula dentro del abdomen dificultando la visión del cirujano, además del problema higiénico que supone la eliminación de humos al ambiente.

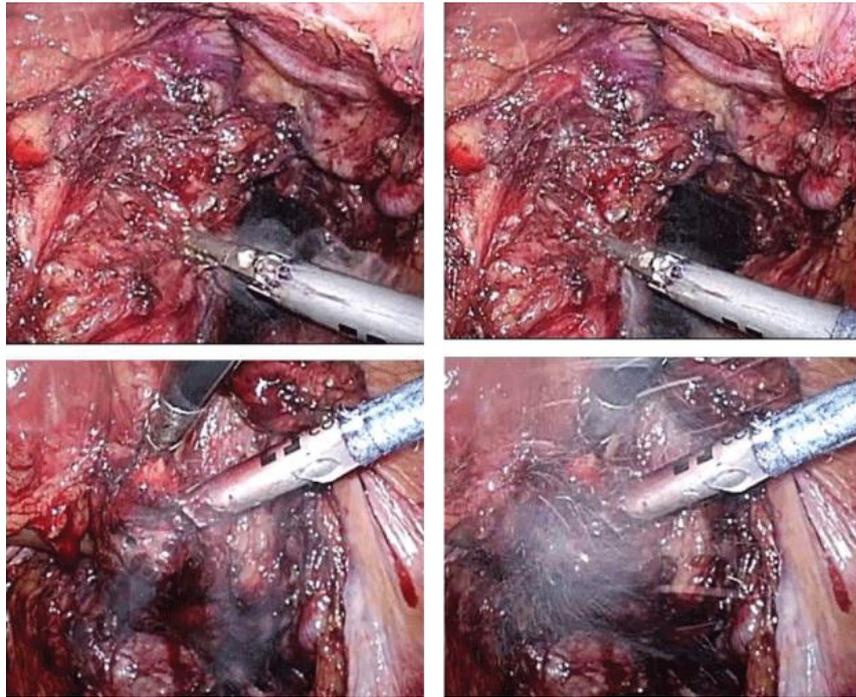


Figura 17: Ejemplo de humo durante intervención por laparoscopia. (Fuente: Internet)

Al contrario que la cirugía tradicional “abierto” donde los humos se difunden por el ambiente, en la laparoscopia quedan dentro de la cavidad abdominal, evacuándose a demanda a través de las válvulas de los trócares que se utilizan para el instrumental quirúrgico.

Esto facilita la manera de evacuar los humos, que en laparoscopia es fundamentalmente a través de 2 métodos:

-Mediante colocación de sistemas de filtrado de aire en la salida de los trócares de laparoscopia.



Figura 18: Filtro acoplado a válvula salida gases trócar laparoscopia. (Fuente: Internet)

Vamos a analizar 2 estudios con filtros de laparoscopia:

En uno de ellos encontraron 18 compuestos en los humos procedentes de intervenciones urológicas de laparoscopia: etanol, 1,2-dicloroetano, benceno, etilbenceno y estireno (cancerígenos conocidos). 13 compuestos aromáticos como acetona, 2-butanona, hexano, *n*-heptano, tolueno, *p*-xileno, *n*-nonano, *o*-oxileno, *n*-decano, *n*-undecano, *n*-hexadecano, *n*-tridecano y *n*-tetradecano (no cancerígenos). Probaron un modelo de filtro para los gases acoplado a la válvula de escape de los trócares de laparoscopia encontrando una eliminación del 87% de los compuestos durante al menos 120 minutos (posteriormente la eficacia cae y los autores lo relacionan con la presencia de humedad acumulada en el filtro) <sup>36</sup>

En este estudio se analizan 7 intervenciones ginecológicas y resumen sus resultados con los filtros laparoscópicos en la siguiente tabla <sup>37</sup>

| Chemicals         | Before Filtration |               | After Filtration |               | P-Value | Removal Rate, % |
|-------------------|-------------------|---------------|------------------|---------------|---------|-----------------|
|                   | Median            | Range         | Median           | Range         |         |                 |
| Benzene           | 0.050             | (0.008–0.085) | 0.031            | (0.004–0.074) | .018    | 38.0            |
| Toluene           | 0.036             | (0.005–0.071) | 0.011            | (0.002–0.029) | .018    | 69.4            |
| Ethyl benzene     | 0.009             | (0.001–0.029) | 0.002            | (0.000–0.005) | .018    | 77.8            |
| Xylene            | 0.002             | (0.001–0.003) | 0.000            | (0.000–0.001) | .015    | 100.0           |
| Styrene           | 0.003             | (0.001–0.010) | 0.001            | (0.000–0.001) | .018    | 66.7            |
| Formaldehyde*     | 0.870             | (0.020–1.970) | 0.430            | (0.010–2.130) | .612    | 50.6            |
| Acetaldehyde†     | 0.590             | (0.070–8.120) | 0.450            | (0.060–4.600) | .091    | 23.7            |
| Propionaldehyde   | 0.020             | (0.000–0.230) | 0.020            | (0.000–0.100) | .109    | 0.0             |
| Butyraldehyde     | 0.028             | (0.001–0.616) | 0.025            | (0.001–0.375) | .028    | 10.7            |
| Isovaleraldehyde† | 0.015             | (0.000–0.427) | 0.012            | (0.000–0.278) | .028    | 20.0            |

\*Above PEL before filtration and REL after filtration.  
†Above the standard of odor.  
PEL, permissible exposure limit of the Occupational Safety and Health Administration; REL, recommended exposure limit of the National Institute for Occupational Safety and Health.

Tabla 15: Reducción de concentraciones tras aplicar filtros laparoscopia<sup>37</sup>.

-Mediante sistemas de aspiración continua con filtro e insuflación.

Estos sistemas no dependen de que un miembro del equipo quirúrgico evacue el gas de la laparoscopia manualmente, sino que se activan automáticamente cuando se activa el instrumental electroquirúrgico, evacuando y filtrando los humos, lo cual supone una ventaja para el equipo quirúrgico.

Sin embargo, estos dispositivos no están ampliamente difundidos principalmente por la carencia de estudios objetivos en cuanto a su eficacia y por su alto coste.

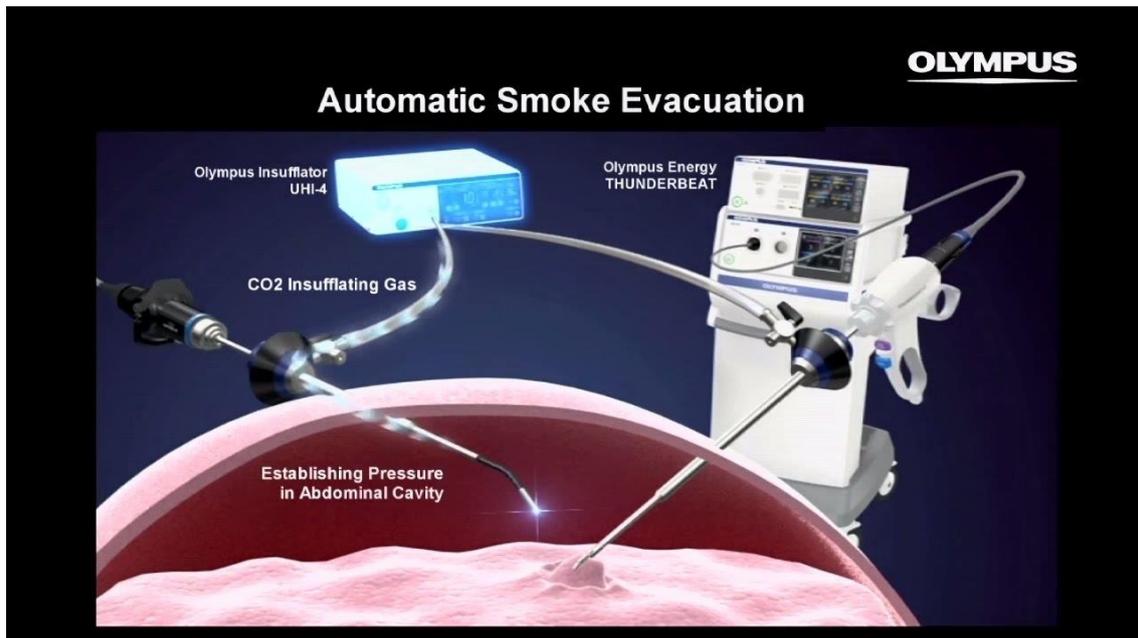


Figura 19: Sistema de aspiración continua de laparoscopia con filtro (Fuente: Internet)

Hay estudios que demuestran que estos sistemas además de mejorar la visión del cirujano también minimizan el riesgo de exposición a agentes peligrosos <sup>39</sup>.

## 8.5. Medidas de protección personal

### 8.5.1. Mascarillas quirúrgicas

Las mascarillas que se han utilizado de manera tradicional en los quirófanos son las denominadas mascarillas quirúrgicas. Estas mascarillas se diseñaron específicamente para proteger al paciente y al equipo quirúrgico de los riesgos biológicos derivados de la transferencia de microorganismos y fluidos corporales. Estas mascarillas no filtran las partículas inferiores a 5µm.



Figura 20: mascarilla quirúrgica. (Fuente: Internet)

Estas mascarillas les resulta de aplicación la normativa de productos sanitarios:

- Directiva 93/42/CE Relativa a los productos sanitarios
- Desde 26 de mayo de 2020, el Reglamento 2017/745 Relativo a los productos sanitarios
- El fabricante debe respetar los requisitos técnicos descritos en la norma UNE-EN 14683:2019 AC

La norma UNE-EN 14683:2019 AC indica los siguientes ensayos a realizar para este tipo de mascarillas:

- Respirabilidad: medir la diferencia de presión necesaria para hacer pasar aire a través de la mascarilla.
- Resistencia a las salpicaduras: mide la resistencia a la penetración de salpicaduras de líquido; sería aplicable para las de Tipo IIR.
- Limpieza microbiana (carga biológica): para su determinación se utiliza a su vez la norma EN ISO 11737-1:2018, donde se dan recomendaciones para medir los microorganismos viables en el exterior o interior de un producto sanitario.
- Biocompatibilidad: nos remite para ello a la norma EN ISO 10993-1:2009, con el fin de determinar el ensayo toxicológico aplicable.

La tabla 1 de la norma [UNE-EN 14683:2019 AC](#) indica los requisitos a cumplir por cada uno de los tipos de mascarilla:

| Ensayo                                        | Tipo I | Tipo II | Tipo IIR |
|-----------------------------------------------|--------|---------|----------|
| Eficacia de filtración bacteriana             | ≥95    | ≥98     | ≥98      |
| Presión diferencial (pascal/cm <sup>2</sup> ) | <40    | <60     | <60      |
| Presión de resistencia a las salpicaduras Kpa | –      | –       | ≥16      |
| Limpieza microbiana (ufc/g)                   | ≤30    | ≤30     | ≤30      |

Tabla 16: requisitos según tipo de mascarilla según la norma UNE-EN 14683:2019 AC

La propia norma estipula que las tipo I no están destinadas para ser usadas por personal sanitario en entornos quirúrgicos.

Tras lo que hemos ido exponiendo a lo largo de este estudio, precisamente son las partículas < de 5µm las más peligrosas por su capacidad para llegar a los alveolos pulmonares, por lo que estas mascarillas quirúrgicas, que se han usado durante décadas por los profesionales sanitarios, no

protegen de las partículas químicas ni agentes biológicos que componen los humos quirúrgicos. Recordemos lo expuesto anteriormente que el 77% de las partículas que forman el humo quirúrgico son de un tamaño  $<$  de  $1.1\mu\text{m}$  con una media de  $0,07\mu\text{m}$ .

Diversos estudios recomiendan el uso de mascarillas filtrantes de protección individual<sup>3,12,13,25,27,43</sup> al menos FFP2 y preferiblemente FFP3. (el equivalente al N95 o N100 de los estándares EEUU)

Diversas organizaciones, apoyadas por estos estudios, recomiendan el uso de respiradores con filtro adecuados como medidas de protección personal adicional a la ventilación general y evacuación local de humos: NIOSH, OSHA, AORN, ISSA, EORNA, etc.

Estas mascarillas, técnicamente denominadas respiradores con filtro de partículas, son considerados EPIs y se rigen por la normativa europea para EPP 89/686/EEC y por la norma UNE-EN 149, 2001+A1:2009 para equipos autofiltrantes de protección respiratoria contra partículas.

Ya sea, FFP2/3 o N95/100 o KN95/100 según el lugar al que hagamos referencia (Europa, EEUU o China) éstas son similares:

| Europa (UNE 149:2001) |      | EEUU (NIOSH 42 CFR 84) |         | China (GB2626) |        |
|-----------------------|------|------------------------|---------|----------------|--------|
| Tipo                  | % EF | Tipo                   | % EF    | Tipo           | % EF   |
| FFP1                  | 78%  |                        |         |                |        |
| FFP2                  | 92%  |                        |         |                |        |
|                       |      | N95                    | 95%     | KN95           | 95%    |
| FFP3                  | 98%  |                        |         |                |        |
|                       |      | N99                    | 99%     | KN99           | 99%    |
|                       |      | N100                   | 99, 97% | KN100          | 99,97% |

*EF: Eficacia de filtración mínima: %EF: % de filtración mínima de partículas aéreas con tamaño  $\geq 0,3\mu\text{m}$*

Tabla 17: Eficacia de filtración según nomenclatura de mascarillas (Fuente: Internet)

Es importante destacar la importancia de la formación de los trabajadores para la correcta colocación de estos respiradores faciales, que deben quedar perfectamente acoplados y sellados a la cara. Asimismo, también incidir en la baja aceptación que tienen entre el personal quirúrgico por la incomodidad que producen al tener que llevarlos en ocasiones durante largos periodos de tiempo ininterrumpidos.

Algunos investigadores como Rebmann han descrito que estas mascarillas dificultan la respiración produciendo un ligero descenso del O<sub>2</sub> y elevación del CO<sub>2</sub> (especialmente en obesos) relacionado con síntomas tales como: cefalea, aturdimiento, falta de aire y taquicardia. Además los profesionales se quejan de que también dificulta la comunicación.

Por ejemplo, un estudio en 2010<sup>45</sup> estimó que solo el 1-2% del personal de quirófano llevaba estos respiradores, excepto en intervenciones relacionadas con el VPH que era del 16%.



Figura 21: Equipo respiratorio FFP3 sin válvula (Fuente: Internet)

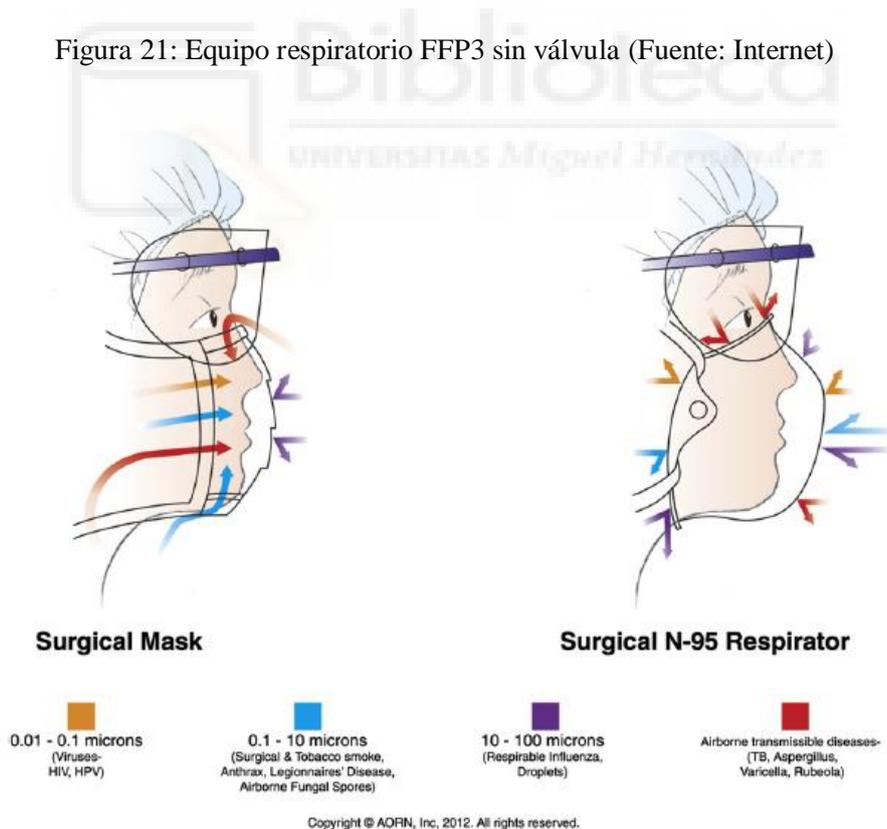


Figura 22: Diferencias entre mascarillas quirúrgica y N95<sup>43</sup>

Sin embargo, a pesar de llevar estas mascarillas de alto nivel de filtrado, no se está del todo protegido frente a algunos virus cuyo tamaño es inferior a  $0.1\mu\text{m}$

Por tanto y a modo de conclusión de este apartado podemos afirmar que las mascarillas quirúrgicas son el tipo de protección más utilizado por el personal de quirófano. Proporcionan una barrera contra las salpicaduras y gotas que impactan en la nariz, boca y vía respiratoria, pero no proporcionan protección contra las partículas contenidas en el aire en forma de aerosoles puesto que la mayoría de las mascarillas quirúrgicas están diseñadas para filtrar partículas de  $\geq 5\mu\text{m}$ . Es por este motivo que el personal de quirófano, como método adicional al de evacuar los humos quirúrgicos, debe usar sistemas respiratorios como dispositivos de protección, al menos FFP2 (o N95 que como circunstancia excepcional se ha permitido su uso ante la falta de recursos materiales durante la pandemia Covid, si bien no están certificadas para su uso en la UE) que deben quedar bien acoplados a la cara y cambiarlos cuando proceda. Lo recomendable serían las FFP3, si bien es cierto, que estas mascarillas tienen menos aceptación entre los profesionales por ser más incómodas de llevar.

#### 8.5.2. Otras medidas de protección

Hemos desarrollado previamente una serie de medidas preventivas encaminadas sobre todo a disminuir la exposición a los humos mediante sistemas de evacuación de los mismos con métodos de ventilación general y local asociados a mecanismos de filtración de los mismo, así como medida de protección de las vías respiratorias para impedir la inhalación de las partículas de los mismos.

De la misma manera cabría adoptar medidas de protección para otros órganos del cuerpo que también se pueden ver afectados por los efectos de los humos.

- Protección ocular mediante uso de pantallas faciales, máscaras o gafas dotadas de protección lateral.



Figura 23: Gafas de seguridad con protección lateral (Fuente: Internet)

- Uso de batas y guantes adecuados para proteger la piel, si bien es cierto que estos dispositivos ya se usan habitualmente en quirófano.

Este material debe cumplir la normativa:

- Gafas:
  - UNE-EN 166:2002: Protección individual de los ojos. Especificaciones.
  - UNE-EN 167:2002: Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo ópticos.
  - UNE-EN 168:2002: Protección individual de los ojos. Métodos de ensayo no ópticos
- Guantes: :UNE-EN ISO 374-1:2016(+/A1:2018)
- Batas: EN 14126:2003+AC:2004
- Además, la normativa aplicable para el diseño y comercialización de los equipos de protección individual (EPI) en la Unión Europea y su correspondiente marcado CE es el Reglamento (UE) 2016/425.



Figura 24: batas y guantes quirúrgicos. (Fuente: Internet)

### 8.5.3. Aumentar la distancia al foco emisor

Otra medida que se podría aplicar para disminuir el riesgo es muy simple: aumentar la distancia respecto al foco emisor y minimizar la cantidad de personal expuesto.

Hoy en día esto es posible gracias a la cirugía robótica. Con el aparato de cirugía robótica Da Vinci el cirujano puede operar desde pocos metros hasta kilómetros de distancia, ejecutando los movimientos a través de una consola que moviliza unos brazos articulados. Únicamente haría falta una persona cerca del paciente para cambiar el instrumental.

Bien es cierto que esto tiene muchas restricciones a ciertos tipos de intervenciones y presenta un alto coste no afrontable para todos los equipos quirúrgicos, no deja de ser una medida que protege al personal.

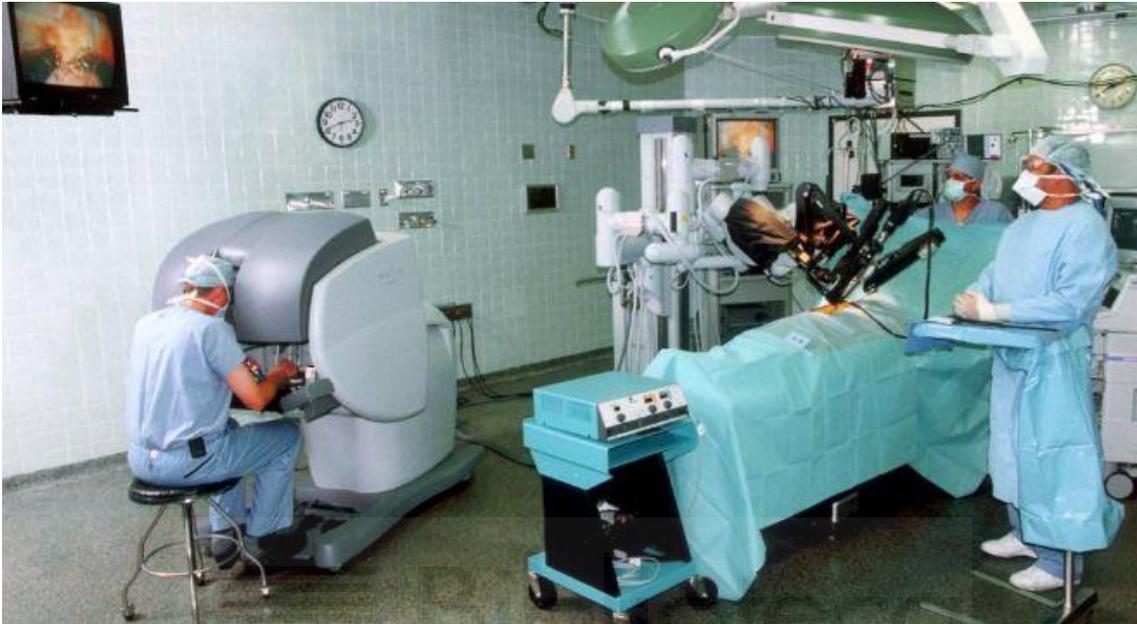


Figura 25: Robot Da Vinci para intervenciones quirúrgicas (Fuente: Internet)

## 8.6. Evaluación de la eficacia de las medidas preventivas

Es muy importante en toda implantación de medidas preventivas evaluarlas periódicamente para mejorar la prevención.

Se deben evaluar regularmente los sistemas de evacuación de humos, el sistema de ventilación general de los quirófanos, filtros, mascarillas y el comportamiento de los trabajadores.

Hay que comprobar que el mantenimiento de todos estos dispositivos se ajuste a las normas de seguridad y se sigan las instrucciones de los fabricantes.

Igualmente reforzar la formación e información de los trabajadores sanitarios.

Al igual que con la industria, realizar regularmente mediciones de contaminantes en la zona respiratoria de los trabajadores también contribuye a evaluar la eficacia de las medidas preventivas.

## 8.7. Vigilancia de la salud<sup>13</sup>

Como hemos visto, hay muy pocos datos sobre enfermedades relacionadas con el humo quirúrgico y es poco probable que esta situación cambie a corto plazo. Por tanto, no se puede implementar un programa de vigilancia médica preventiva para detectar enfermedades vinculadas a los humos del quirófano.

Tampoco se cuenta con un programa rutinario de prevención específico para el personal expuesto al humo quirúrgico. Sin embargo, los exámenes periódicos de medicina del trabajo se llevan a cabo en muchos países, y se deberían aprovechar para vigilar al personal expuesto al humo, permitiendo que cualquier problema pudiera ser detectado y actuado precozmente. También parece relevante identificar personal con factores de riesgo individuales (como pueden ser inmunodeprimidos, enfermedades cardiovasculares o respiratorias crónicas, etc.) para evitar su exposición al humo.

Si bien en este contexto de dificultad para realizar la vigilancia de la salud, tenemos algunos puntos positivos que podrían ser llevados a la práctica, dado que conocemos muchos de los componentes de los humos, varios de los cuales tienen unos valores límite de exposición biológica conocidos (como el benceno, tolueno, xileno, etc) que podrían ser mensurados periódicamente en el personal expuesto.

Este examen médico preventivo podría comprender una anamnesis dirigida, evaluación clínica, análisis bioquímicos (realizando obligatoriamente controles biológicos) y pruebas de espirometría.

## **CONCLUSIONES**

Es evidente que la presencia de partículas tóxicas, carcinogénicas, células tumorales, virus y bacterias viables presentes en los humos quirúrgicos suponen un peligro potencial no solo para los cirujanos si no, también para el propio paciente y resto del personal sanitario que trabaja en los quirófanos: anestesistas, enfermería, auxiliares, celadores, estudiantes, etc.

Es muy difícil extrapolar los resultados de los estudios realizados in vitro a las condiciones reales de un quirófano, igualmente es muy complicado realizar estudios metodológicamente correctos por las particularidades que tienen los quirófanos y la posibilidad de interferir con las intervenciones quirúrgicas. Además de la gran variabilidad de procedimientos quirúrgicos que se realizan sobre diferentes partes del cuerpo humano, así como de la diversidad del instrumental utilizado, hechos que influyen en la diferente composición y concentración de partículas y agentes en los humos generados.

Además, existen muy pocos datos sobre las enfermedades relacionadas con el humo, así como de los posibles efectos aditivos de las sustancias presentes en el mismo.

Todo esto hace que haya que interpretar con cautela los resultados de los estudios publicados.

Lo que sí es cierto y no genera duda, es que como mínimo, presentan un riesgo potencial para los trabajadores, y la mayoría de éstos no están concienciados o desconocen el peligro. En algunos estudios se han detectado por encima de los niveles recomendados por las autoridades. Es particularmente importante el hecho de que se detecte benceno, un tóxico y carcinogénico clasificado como 1A conocido, cuyo VLA-ED es de 1 ppm.

Por tanto, citando la Ley de Riesgos Laborales 31/1995 del 8 de Noviembre, en su Art 14, "*Los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo. Es deber del empresario de protección de los trabajadores frente a los riesgos laborales.*" Se deben establecer unas medidas preventivas en cualquier acto quirúrgico en el que se produzca humo, que seguirían este orden:

- 1) Sistemas de ventilación general que cumplan la normativa específica de ventilación en quirófanos.
- 2) Sistemas de evacuación de humos con extracción localizada lo más cerca posible del foco de emisión, equipados con los filtros adecuados (HEPA, ULPA)

- 3) Equipos de protección personal: ropas, guantes, protección ocular y mascarillas (recomendable FFP3 y mínimo FFP 2)

Aparte de esta implantación de medidas, es fundamental integrar este tema en la planificación preventiva por parte de los departamentos de riesgos laborales de cada centro sanitario. De esta manera, se pueden crear programas de formación e información continua de trabajadores, evaluar las medidas implantadas y realizar una vigilancia de la salud adecuada. También hay que implicar a las autoridades pertinentes para legislar adecuadamente y no dejar en manos de cada centro sanitario o quirófano las medidas a adoptar, se deben concretar medidas obligatorias.

Por otra parte, son necesarios más estudios, sobre todo a largo plazo, que relacionen la aparición de enfermedades o trastornos (especialmente respiratorios) en el personal de quirófano monitorizando los niveles de exposición a los diferentes agentes biológicos y partículas a los que están expuestos.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1) Hollmann R, Hort CE, Kammer E, Naegele M, Sigrist MW, Meuli-Simmen C. Smoke in the operating theater: an unregarded source of danger. *Plast Reconstr Surg* 2004;114:458–63
- 2) Ueda S, Hirano M, Tomita Y, Hirohata T. Some problems about condensates induced by CO2 laser irradiation. Paper presented at: Fourth International Society for Laser Surgery; November 1981; Tokyo, Japan
- 3) Brenda C., Ulmer RN, CNOR. The Hazards of Surgical Smoke. *AORN Journal* 2008;87(4)721-38
- 4) In, S.M., Park, D-Y., Sohn, I.K., Kim, C-H., Lim, H.L., Hong, S-A., Jung, D.Y., Jeong S-Y., Han, J.H., & Kim, H.J. (2015). Experimental study of the potential hazards of surgical smoke from powered instruments. *British Journal of Surgery* 102, 1581-1586.
- 5) Heinsohn P, Jewett DL. Exposure to bloodcontaining aerosols in the operating room: a preliminary study. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1993;54(8):446-453
- 6) González-Bayón L, González-Moreno S, Ortega-Peréz G. Safety considerations for operating room personnel during hyperthermic intraoperative intraperitoneal chemotherapy perfusion. *Eur J Surg Oncol.* 2006;32(6):619-624.
- 7) Heinsohn P, Jewett DL, Balzer L, et al. (1991) Aerosols created by some surgical power tools: particle size distribution and qualitative hemoglobin content. *App Occup Environ Hyg* 6: 773–776
- 8) Nezhat C, Winer WK, Nezhat F, Nezhat C, Forrest D, Reeves WG (1987) Smoke from laser surgery: is there a health hazard? *Lasers Surg Med* 7: 376–382
- 9) Ott DE, Moss E, Martinez K (1998) Aerosol exposure from an ultrasonically activated (harmonic) device. *J Am Assoc Gyn Laparoscopists*5: 29–32
- 10) Wisniewski PM, Warhol MJ, Rando RF, Sedlacek TV, Kemp JE, Fisher JC (1990) Studies on the transmission of viral disease via the CO2 laser plume and ejecta. *J Reprod Med* 35: 1117–1123
- 11) Mowbray, N., Ansell, J., Warren, N., Wall, P., & Torkington, J. (2013). Is surgical smoke harmful to theater staff? A systematic review. *Surgical Endoscopy*, 27, 3100-3107. doi:10.1007/s00464-013-2940-5
- 12) Hilario Carbajo-Rodríguez, José Luis Aguayo-Albasinib, El humo quirúrgico: riesgos y medidas preventivas. *Cirugía Española* 2009;85(5):274–279.

- 13) Surgical smoke: Risks and preventive measures. ISSA
- 14) Al Sahaf O.S.; Vega-Carrascal I.; Cunningham F.O.; McGrath J.P.; Bloomfield F.J.; Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery. *Ir J Med Sci* (2007). 176:229-232
- 15) Tomita Y, Mihashi S, Nagata K, Ueda S, Fujiki M, Hirano M, Hirohata T (1981) Mutagenicity of smoke condensates induced by CO<sub>2</sub>-laser irradiation and electrocauterization. *Mutat Res* 89(2):145–149
- 16) Bigony L. Risks associated with exposure to surgical smoke plume: a review of the literature. *AORN J*. 2007;86:1013–20.
- 17) Tseng H-S, Liu S-P, Uang S-N, et al. Cancer risk of incremental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in electrocautery smoke for mastectomy personnel. *World J Surg Oncol*. 2014; 12:31.
- 18) Choi SH, Kwon TG, Chung SK, Kim TH. Surgical smoke may be a biohazard to surgeons performing laparoscopic surgery. *Surg Endosc*. 2014;28(8): 2374-2380.
- 19) Surgical Smoke Exposure in Operating room Personnel A Review Ice V. Limchantra; Yuman Fong, MD; Kurt A. Melstrom, MD
- 20) Jonathan Pavlinec and Li-Ming. Surgical Smoke in the Era of the COVID-19 Pandemic Is It Time to Reconsider Policies on Smoke Evacuation? *THE JOURNAL OF UROLOGY®* Vol. 204, 642-644, October 2020
- 21) N. G. Mowbray<sup>1</sup>, J. Ansell<sup>1</sup>, J. Horwood<sup>1</sup>, J. Cornish<sup>1</sup>, P. Rizkallah<sup>2</sup>, A. Parker<sup>2</sup>, P. Wall<sup>3</sup>, A. Spinelli<sup>4</sup> and J. Torkington. Safe management of surgical smoke in the age of COVID-19 *BJS* 2020; 107: 1406–1413
- 22) King B.; McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2000-0402-3021 Inova Fairfax Hospital Falls Church, Virginia. November 2006
- 23) Dobrogowski, M., Wesołowski, W., Kucharska, M., Sapota, A., & Pomorski, L. S. (2014). Chemical composition of surgical smoke formed in the abdominal cavity during laparoscopic cholecystectomy—Assessment of the risk to the patient. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 27, 314-325.
- 24) NTP: *Ventilación general en hospitales*
- 25) W. L. Barrett,<sup>1</sup> S. M. Garber. Surgical smoke—a review of the literatura Is this just a lot of hot air? *Surg Endosc* (2003) 17: 979–987
- 26) JENNIFER L. FENCL. Guideline Implementation: Surgical Smoke Safety. *AORN J* 105 (May 2017) 488-497

- 27) Kevin Bree. The Dangers of Electrosurgical Smoke to Operating Room Personnel A Review. *Workplace Health & Safety* vol 65 No 11 517-526
- 28) EORNA RECOMMENDATION ON: PREVENTION AND PROTECTION OF SURGICAL PLUME 2018
- 29) NIOSH 1996. Controls of smoke from laser/electric surgical procedures
- 30) W. L. Barrett, S. M. Garber. Surgical smoke—a review of the literature Is this just a lot of hot air? *Surg Endosc* (2003) 17: 979–987
- 31) Gates MA, Feskanich D, Speizer FE, Hankinson SE. Operating room nursing and lung cancer risk in a cohort of female registered nurses. *Scand J Work Environ Health*. 2007;33(2):140-147.
- 32) Spearmann J.; Tsavellas G.; Nichols P.: Current attitudes and practices towards diathermy smoke. *Ann R Coll Surg Engl* (2007); 89: 162 – 165
- 33) Jose M<sup>a</sup> Cortés Díaz. Seguridad y salud en el trabajo. 11<sup>a</sup> Edición 2018.
- 34) Hans-Martin Seipp, Thomas Steffens, Janine Weigold, Armin Lahmer, Andreas Maier-Hasselmann, Torsten Herzog & Jennifer Herzog-Niescery Efficiencies and noise levels of portable surgical smoke evacuation systems, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*(2018)
- 35) Kocher GJ, Sesia SB, Lopez-Hilfiker F, Schmid RA. Surgical smoke: still an underestimated health hazard in the operating theatre. *Eur J CardiothoracSurg* 2018.
- 36) Seock Hwan Choi, Dong Hee Choi, Dong Hwa Kang, Yun-Sok Ha, Jun Nyung Lee, Bum Soo Kim, Hyun Tae Kim, Eun Sang Yoo, Tae Gyun Kwon, Sung Kwang Chung, Tae-Hwan Kim. Activated carbon fiber filters could reduce the risk of surgical smoke exposure during laparoscopic surgery: application of volatile organic compounds. *Surgical Endoscopy* 2018.
- 37) Chemicals in Surgical Smoke and the Efficiency of Built-in-Filter Ports Hyeong In Ha,
- 38) Kawada Y, Shimizu H. Reduction of suspended particles in closed space with electrostatic precipitator. *Electron Commun Jpn*. 2017;100(9):32- 40.
- 39) Takahashi H, Yamasaki M, Hirota M, Miyazaki Y, Moon JH, Souma Y, Mori M, Doki Y, Nakajima K. Automatic smoke evacuation in laparoscopic surgery: a simplified method for objective evaluation. *Surg Endosc*. 2013 Aug;27(8):2980-7. *Surg Endosc* (2013) 27:2980–2987
- 40) Sung B-J, Aly A, Lee S-H, Takashima K, Kastura S, Mizuno A. Fine-particle collection using

an electrostatic precipitator equipped with an electrostatic flocking filter as the collecting electrode. *Plasma Process Polym.* 2006;3(9):661- 667.

**41)** Rim DPD, Wallace L, Persily A. Effectiveness of an In-Duct Electrostatic Precipitator in Nanoparticle Removal With Consideration of Ozone Emissions. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology; 2014.

**42)** The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): NIOSH Study finds healthcare worker's exposure to surgical smoke still common. 2015. <https://www.cdc.gov/niosh/updates/upd-11-03-15.html> (December 2017, date last accessed).

**43)** Stacey M. Benson, Debra A. Novak. Proper Use of Surgical N95 Respirators and Surgical Masks in the OR. *AORN J.* 2013 Vol 97 No 4 457-470

**44)** Rebmann T, Carrico R, Wang J. Physiologic and other effects and compliance with long-term respirator use among medical intensive care unit nurses. *Am J Infect Control.* 2013; 41: 1218-23.

**45)** Edwards BE, Reiman RE. Comparison of current and past surgical smoke control practices. *AORN J.* 2012;95:337–50.

**46)** Límites de exposición profesional para agentes químicos en España. INSST (2019)

**47)** Carga y epidemiología de la extracción de humo quirúrgico. Ethicon.