

C. del Valle Rubido, C. M. Martín-Gromaz Bravo y V. Corraliza Galán



OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Conocer los tipos y los componentes de un quirófano de endoscopia.
- Reconocer el funcionamiento de los diferentes aparatos y del material, para ser capaces de aplicarlo a la práctica clínica con la seguridad que se precisa en la cirugía endoscópica.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las técnicas endoscópicas ha supuesto un reto tecnológico para el mundo de la cirugía. Gracias a estos avances tecnológicos, los cirujanos disponen cada vez de más medios que permiten abordar, de un modo mínimamente invasivo, patologías que tradicionalmente se han abordado por laparotomía. Las ventajas del abordaje endoscópico son: una menor estancia hospitalaria, una recuperación postoperatoria más rápida, cicatrices de menor tamaño y una menor tasa de adherencias. Además, los instrumentos de menor tamaño y la mejor calidad de la imagen, con sistemas de alta calidad, permiten acceder a espacios cada vez más pequeños en los que la visión en cirugía tradicional estaba comprometida.

Sin embargo, la vía endoscópica puede presentar algunos problemas con los que el cirujano debe estar familiarizado, como la visión en dos dimensiones (pérdida de sensación de profundidad), un campo de visión limitado (del que se pueden salir los instrumentos mientras se manipulan las estructuras), un espacio o número de trócares limitados para el instrumental, la pérdida de visión por presencia de sangre, fluidos, vapor o humo, o la alteración de la absorción de la luz por los tejidos.

Todo esto ha requerido un importante desarrollo tecnológico. Desde principios de 1900, cuando el Doctor Jacobaeus realizó la primera laparoscopia en Suecia, hasta nuestros días, se han perfeccionado los sistemas ópticos, creándose la fibra óptica, la iluminación con luz fría, sistemas electrónicos avanzados para insuflación controlada de fluidos o gas, sistemas de vídeo y amplificación de imagen, y la tecnología láser.

El quirófano de endoscopia depende de la tecnología, y está sujeto a fracaso por fallo técnico, y no sólo del cirujano. Actualmente, el cirujano endoscopista debe conocer a la perfección no sólo la anatomía y el tipo de cirugía que va a realizar, sino también los medios de los que dispone, tanto para el funcionamiento normal del equipo endoscópico, como para

los casos de complicaciones o fallos del material; la comprobación preoperatoria es un paso importante para asegurar el éxito de este tipo de cirugía. Asimismo, debe conocer las limitaciones de la cirugía, de su experiencia y del equipo del que dispone. De esta forma, podrá detectar tanto los errores quirúrgicos como los técnicos, reforzando la seguridad del paciente durante la cirugía.



Las ventajas del abordaje endoscópico son:

- Una menor estancia hospitalaria.
- Una recuperación postoperatoria más rápida.
- Cicatrices de menor tamaño.
- Menor tasa de adherencias.



El quirófano de endoscopia es tecnológico y puede sufrir fracaso por fallo técnico. El cirujano debe conocer el equipo endoscópico, la anatomía y el tipo de cirugía que va a realizar.

QUIRÓFANOS DE CIRUGÍA ENDOSCÓPICA

La cirugía endoscópica requiere un gran número de componentes, algunos de ellos de gran tamaño. La buena organización de estos componentes permitirá el curso fluido de la cirugía, y puede variar según el diseño del quirófano y las preferencias del equipo endoscopista.

En general, se recomienda la siguiente disposición de los elementos en la torre de quirófano (**Fig. 7-1**):

- En la parte superior, el monitor (pantalla de imagen), a la altura de las cabezas del cirujano principal y el ayudante.
- En segundo lugar, la fuente de luz. En este mismo nivel suele encontrarse un dispositivo para apoyar la cámara.
- Por debajo, el sistema de grabación.
- Por último, el insuflador.

En la misma torre o aparte pueden situarse los generadores de energía y el sistema de aspiración.



Figura 7-1. Torre de endoscopia.

A medida que se han ido desarrollando los equipos de endoscopia, ha avanzado la configuración de los quirófanos, de modo que los actuales quirófanos integrados de endoscopia difieren bastante de los quirófanos convencionales. Sin embargo, no siempre se dispone de quirófanos integrados, y en estos casos, es recomendable aplicar los principios de los quirófanos integrados, en la medida de lo posible, para facilitar el desarrollo de la cirugía.



La torre de endoscopia es el elemento imprescindible para el desarrollo de toda cirugía endoscópica. Contiene los aparatos fundamentales para operar por esta vía:

- El monitor de imagen.
- El sistema de óptica: fuente de luz, cámara y cable óptico.
- El sistema de grabación.
- El aparato de insuflación.

A continuación, se revisarán las principales diferencias entre estos dos tipos de quirófano.

Quirófano convencional

El quirófano convencional (Figs. 7-2 y 7-3) debe ser suficientemente grande para acomodar y permitir el movimiento de los diferentes componentes. Dispondrá de varias mesas quirúrgicas para el instrumental estéril: de cirugía abierta, endoscopia, cirugía vaginal, mesa auxiliar, etcétera. Además, debe disponer de la mesa quirúrgica, espacio para el equipo

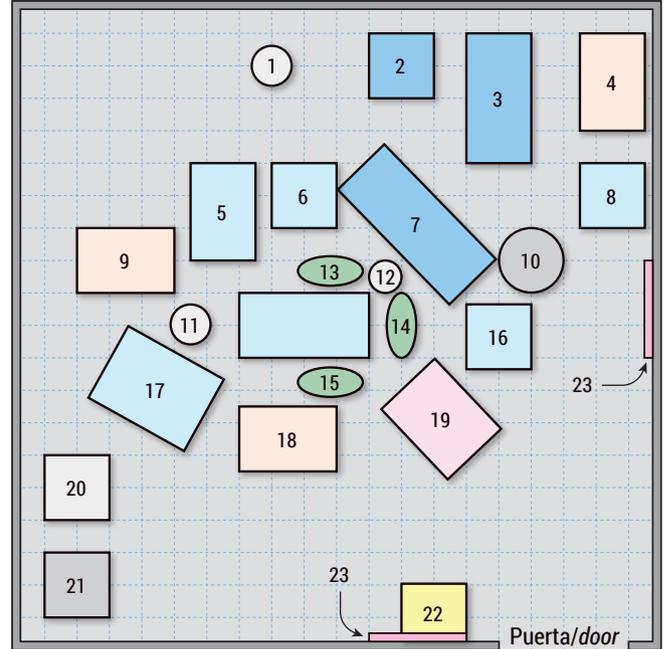


Figura 7-2. Plano de disposición de elementos de un quirófano convencional. 1) Cubo; 2) Mesa de material para vía vaginal; 3) Mesa de histeroscopia; 4) Carro de histeroscopia; 5) Instrumentos láser; 6) Evacuador de humos; 7) Mesa de instrumental; 8) Bomba de irrigación; 9) Carro de anestesia; 10) Módulo de aspiración; 11) Cubo; 12) Cubo; 13) Cirujano principal; 14) Enfermera instrumentista; 15) Cirujano ayudante; 16) Módulo de electrocirugía; 17) Consola de anestesia; 18) Carro de laparoscopia; 19) Módulo de vídeo; 20) Cubo; 21) Linos; 22) Control; 23) Pantallas.

anestésico, y diferentes mesas o carros para albergar los aparatos necesarios para la endoscopia:

- La torre de endoscopia (Fig. 7-4), en este tipo de quirófano en un carro móvil con estanterías y cajones para el insuflador de CO₂ o fluidos en caso de histeroscopia, y la fuente de luz.
- El monitor de imagen y sistema de vídeo suelen colocarse en otro carro en el quirófano convencional.
- La unidad de electrocirugía: compuesta por otro carro que contiene un transformador de corriente eléctrica en energía monopolar o bipolar. Su función es principalmente el corte y la hemostasia de los tejidos. Existen otros tipos de instrumentos para hemostasia, que utilizan otras fuentes de energía como ultrasonidos, láser o radiofrecuencia.

Además, debe disponer de módulos aparte, como el sistema de irrigación y succión, el evacuador de humos (opcional), diferentes papeleras, carro de medicación, carro de lencería y mesa de ordenador, entre otros.

En este tipo de quirófano, los aparatos eléctricos van enchufados a la pared, al igual que el sistema de gases (oxígeno, CO₂ y, de forma opcional, óxido nítrico), por lo que, además de numerosas mesas y carros, se encuentran cables y tubos atravesando el quirófano desde un punto central, alrededor del paciente, hasta la pared.



El quirófano convencional dispondrá de carros para albergar la torre de endoscopia, el monitor de imagen y el sistema de vídeo, y la unidad de electrocirugía. Los aparatos eléctricos van enchufados a la pared.

Quirófano integrado

Los quirófanos integrados se crearon a finales de la década de 1990, al desarrollarse sistemas de vídeo capaces de distribuir las señales de imagen de una cámara a diferentes monitores. A medida que ha pasado el tiempo, se han desarrollado los sistemas de imagen, vídeo, informática, luces, etc., de forma que incluso están intercomunicados. Actualmente, son quirófanos que combinan los avances quirúrgicos con las últimas modalidades de imagen.

En los quirófanos integrados se pueden controlar los diferentes aparatos desde una misma consola, lo que permite al usuario un acceso más centralizado. En comparación con

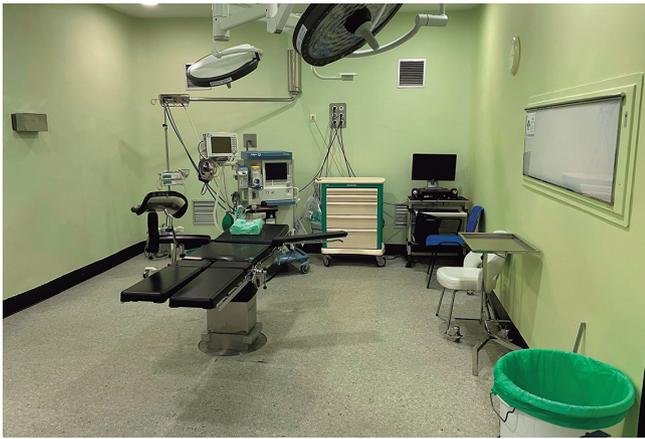


Figura 7-3. Quirófano convencional.



Figura 7-4. Torre de endoscopia de un quirófano convencional.

los quirófanos convencionales, pueden tener equipos muy tecnológicos en espacios de menor tamaño.

En el quirófano integrado, los cables y tubos recorren el interior de brazos articulados móviles que, como las luces y la torre de endoscopia, salen del techo, permitiendo la circulación sin obstáculos del personal. Existen diferentes monitores de imagen que también dependen de brazos articulados, en lugar de un único monitor, y se sitúan mirando al cirujano, a los ayudantes, y también a enfermería y al médico anestesista, de forma que todo el personal puede seguir la cirugía y está informado de su transcurso. Desde un ordenador, se tiene acceso a los diferentes aparatos del quirófano e incluso se pueden instalar sistemas de reconocimiento de voz, que se activan con las órdenes del cirujano a través de un micrófono inalámbrico (Figs. 7-5 a 7-10).



Los quirófanos integrados pueden controlar los diferentes aparatos desde una misma consola. Los cables y tubos recorren el interior de brazos articulados móviles.

Se han definido diferentes niveles de integración del quirófano:

- Nivel VE (vídeo y equipo médico): es el nivel mínimo de integración, donde la fuente de vídeo son las imágenes endoscópicas. El vídeo se muestra en una o en diferentes pantallas, con brazos articulados que salen del techo o sobre la torre de endoscopia.



Figura 7-5. Disposición de lámparas de luz en un quirófano integrado.



Figura 7-6. Disposición de lámparas de luz y monitor de imagen en un quirófano integrado.



Figura 7-7. Torre de endoscopia sobre brazo articulado en un quirófano integrado.



Figura 7-8. Torre de endoscopia suspendida por brazo articulado.

- Nivel AVT (audiovisual y sistema de teleconferencias): permite mostrar la imagen y el audio en salas de conferencias y auditorios dentro del mismo edificio.
- Monitor de imagen en un quirófano integrado (**Fig. 7-11**).
- Nivel AVER (audio, vídeo, equipo médico y «*room environment*») o ambiente): permite que los sistemas de audio (p. ej., música o teléfono), vídeo quirúrgico y control de los parámetros ambientales del quirófano (temperatura, puertas, luces, etc.) estén conectados, de forma que el cirujano, por activación de voz, o la enfermera, desde un control central, puedan manejar múltiples aparatos y funciones de forma centralizada.
- Nivel AVERPI (audio, vídeo, equipo médico, ambiente, PACS [sistema de almacenamiento de imagen y comunicación] e informática): a este nivel, el quirófano está conectado con otras áreas del hospital, como radiología o laboratorios. Desde los monitores del quirófano, se pueden ver las imágenes o datos de estas áreas, e incluso programas informáticos pueden recoger toda la información sobre el caso clínico y mostrarla de forma visual para el personal que interviene en la operación. En general, cuando se habla de quirófano integrado, se alude a quirófanos, como mínimo, de este nivel.
- Nivel AVERPIT: al nivel anterior se añade la telemedicina, es decir, la capacidad de conectar lo que sucede en el quirófano con el exterior, ya sea una clase en un edificio cercano como un congreso al otro lado del mundo.

Las exigencias tecnológicas de este tipo de quirófanos son muy altas, por lo que es importante insistir en el diseño



Figura 7-9. Carro de anestesia suspendido por brazo articulado.

adecuado de los quirófanos integrados, de forma que pueda satisfacer las necesidades actuales y futuras. El coste de estos quirófanos también es muy elevado, y en ocasiones su implementación se realiza por fases, que se deberán tener en cuenta en el diseño.

Las ventajas de los quirófanos integrados son:

- Mayor seguridad: para evitar errores médicos, es muy útil disponer de toda la información del paciente en los monitores del quirófano, desde su nombre y tipo de intervención, hasta las imágenes radiológicas o las constantes vitales.



Figura 7-10. Mesa auxiliar en quirófano integrado.

- Mayor eficacia en el quirófano: disminuye la fatiga del equipo quirúrgico, ya que la colocación de los monitores de imagen endoscópica se adapta a la altura y posición del personal. Utilizar música adaptada a cada momento de la intervención también puede disminuir la fatiga.
- Optimización de procesos: mediante la unificación en un mismo punto del control de todos los aparatos que se van a utilizar.
- Aumento de la productividad: al disminuir el tiempo de instalación y limpieza, ya que no hay que desconectar los aparatos para limpiar y volver a conectarlos, sino que, gracias a los brazos articulados, se pueden apartar y volver a colocar para el siguiente procedimiento.
- Capacidad de adaptación a los diferentes equipos quirúrgicos y procedimientos: por la facilidad en la colocación de la torre, los monitores y las luces según las necesidades.

Todo esto hace que la calidad asistencial en los quirófanos integrados sea mayor que en los convencionales, beneficiando tanto al paciente como al equipo quirúrgico, anestésico, personal de enfermería y resto de personal del quirófano, así como al hospital en general.



Las ventajas de los quirófanos integrados son: mayor seguridad, mayor eficacia, optimización de los procesos, aumento de la productividad y capacidad de adaptación a los diferentes equipos quirúrgicos y procedimientos. La calidad asistencial en estos quirófanos es mayor que en los convencionales.

SISTEMAS DE INSUFLACIÓN Y EXTRACTORES DE HUMO

A continuación se describen los aspectos relevantes de los sistemas de insuflación y extractores de humo.

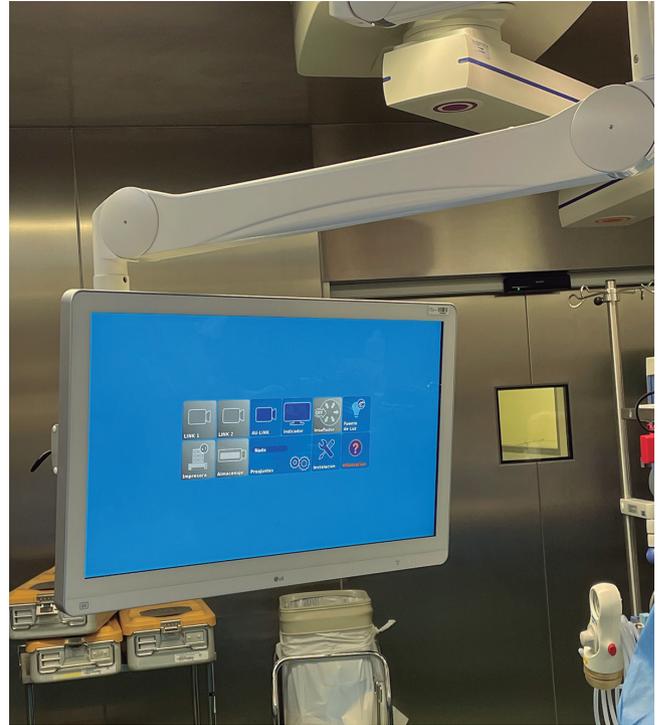


Figura 7-11. Monitor de imagen en quirófano integrado.

Sistemas de insuflación

El insuflador es la herramienta fundamental en endoscopia. En laparoscopia se utiliza CO_2 , y en histeroscopia se realiza la distensión con suero salino o glicina.

El insuflador es esencial para crear el neumoperitoneo, que consiste en llenar la cavidad abdominal de gas CO_2 , distendiendo los espacios y levantando la pared abdominal para tener espacio para mover el instrumental y, sobre todo, para la visión correcta dentro del abdomen. También se puede insuflar el espacio extraperitoneal, para visualizar los grandes vasos parietales y el drenaje linfático del abdomen, según el tipo de cirugía que se vaya a realizar.

EL CO_2 es un gas inerte muy soluble, lo que disminuye el riesgo de tromboembolia gaseosa. Además, posee la ventaja de eliminar mediante la respiración. Existen otros gases inertes que se pueden utilizar en laparoscopia, pero el CO_2 es el más económico.

El insuflador de CO_2 se utiliza para crear el neumoperitoneo y mantenerlo durante la operación. Es capaz de mantener la presión intrabdominal y renovarse periódicamente. En las **figuras 1-12 y 1-13** se muestran ejemplos de insufladores de gas endoscópicos.



El insuflador es la herramienta fundamental en endoscopia, y es esencial para crear el neumoperitoneo.

Inicialmente, el neumoperitoneo se utilizaba a una presión en torno a 30 mm Hg. Sin embargo, a esa presión la embolia gaseosa es más frecuente, por lo que se recomienda trabajar con presiones por debajo de 15 mm Hg, utilizándose puntualmente hasta 20 mm Hg para la entrada del



Figura 7-12. Ejemplo de insuflador de gas endoscópico de la marca Olympus.



Figura 7-13. Ejemplo de insuflador de gas endoscópico de la marca Storz.

trócar óptico. Se suele establecer una presión máxima de 12 mm Hg durante la cirugía, ya que por encima de esa presión disminuye notablemente la fracción de eyeción cardíaca.

La velocidad de flujo de gas a la cavidad abdominal es de 1-2 L/min a través de una aguja de Veress y de unos 6-8 L/min por un trócar de 10-12 mm. Actualmente existen aparatos de alto flujo de hasta 40 L/min, que permiten recuperar rápidamente pérdidas de presión por fugas por trócar, apertura de vagina, aspirador, etcétera. Se trata de insufladores «inteligentes» (Fig. 1-14), que permiten un flujo alto de CO₂, la extracción de humo mediante filtro de partículas de hasta 1 μm, y que son capaces de optimizar el flujo de gas para crear un neumoperitoneo estable, a pesar de la apertura de trócares u orificios, como por ejemplo la vagina. Además, se estima que el uso de estos dispositivos disminuye el tiempo quirúrgico en un 15 %, disminuyendo, por tanto, el coste global de la intervención.

Las condiciones aconsejables para el insuflador de gas son las siguientes:

- Permitir un flujo alto de insuflación (por encima de 15 L/min).
- Utilizar un gas inerte, incoloro, inoloro, soluble en la sangre y fácilmente eliminable por la respiración.
- Humidificar el gas.
- Permitir el control visual de la tasa de flujo, el volumen insuflado y la presión.
- Poder establecer una alarma para presiones por encima de la presión máxima deseable (que se pueda configurar para cada cirugía).
- Tener capacidad de retirar el gas en caso de presión excesiva.

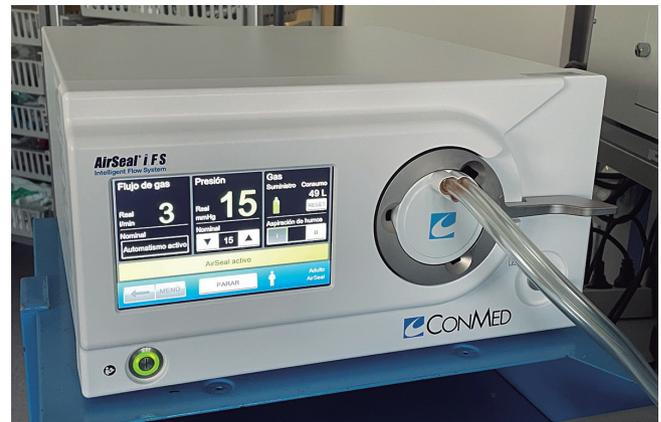


Figura 7-14. Ejemplo de insuflador de gas inteligente.



Hay que establecer una presión máxima de 12 mm Hg durante la cirugía. El insuflador de gas debe permitir un flujo elevado de insuflación, utilizar un gas inerte, incoloro, inoloro, soluble en la sangre y fácilmente eliminable por la respiración, humidificar el gas, permitir el control visual de la tasa de flujo, el volumen insuflado y la presión, y tener capacidad de retirar el gas en caso de presión excesiva.

Además del gas CO₂, se han evaluado otros gases como medio de distensión:

- Aire: a pesar de su gran disponibilidad, no se aconseja debido a su escasa capacidad de difusión sanguínea, por lo que su permanencia en la cavidad abdominal causa postoperatorios más molestos, y a su baja solubilidad en sangre, que aumenta el riesgo de tromboembolia gaseosa.
- Oxígeno: está contraindicado por su capacidad explosiva al entrar en contacto con la energía eléctrica. De este modo, el corte y la coagulación con energía provocarían unos resultados desastrosos.
- Óxido nitroso: también está contraindicado. Aunque se usa ampliamente en anestesia e incluso en otros procedimientos ginecológicos, como en la analgesia durante la histeroscopia o el parto, se contraindica como agente distensor por su capacidad de combustión. Además, cuando se usa para anestesia, al pasar desde la sangre a la cavidad abdominal desplaza al CO₂ y podría ser origen de una tromboembolia gaseosa. Para evitar estos efectos indeseables, es importante una tasa adecuada de renovación gaseosa.
- Helio y argón: serían buenos candidatos para realizar el neumoperitoneo, ya que son gases muy estables, inertes y no tóxicos. Sin embargo, debido a su precio y a que no son solubles en la sangre (por lo que no se pueden eliminar por la respiración), no se usan en laparoscopia.

Sin embargo, aunque el CO₂ es el más adecuado como medio distensor (ya que tiene gran capacidad de difusión sanguínea y se elimina por la respiración), no está exento de riesgos, y sus efectos fisiológicos son la acidosis respiratoria transitoria y la hipercapnia. Para compensar los efectos de la acidosis, se requiere una ventilación pulmonar adecuada durante la cirugía: estimulación del sistema nervioso simpático, que origina un estado circulatorio hiperdinámico. Además, el establecimiento del neumoperitoneo produce una

disminución de la precarga (por disminución del retorno venoso), y un aumento de las resistencias vasculares sistémicas, el pulso y el gasto cardíaco. La posición de Trendelenburg empeora esta situación. En los pacientes sanos, estos cambios se compensarán fisiológicamente, pero los pacientes con compromiso respiratorio y cardíaco requerirán monitorización cardiorrespiratoria y soporte farmacológico, incluso en etapas iniciales de la laparoscopia. En estos casos, se aconseja un establecimiento del neumoperitoneo lo más lentamente posible y esperar a la estabilización hemodinámica antes de poner al paciente en posición de Trendelenburg. También se recomienda no superar los 15 mm Hg de presión intraabdominal.



El CO₂ es el medio distensor más adecuado, pero no está exento de riesgos. Sus efectos fisiológicos son la acidosis respiratoria transitoria y la hipercapnia. Se recomienda establecer el neumoperitoneo lentamente y no superar los 15 mm Hg de presión intraabdominal.

Extractores de humo en laparoscopia

El uso de extractores de humo (**Fig. 7-15**) durante la cirugía laparoscópica permite capturar el humo cerca de la fuente de emisión y proporciona algunos beneficios:

- Una buena visibilidad del campo quirúrgico.
- Prevenir la corrosión del material quirúrgico.
- Disminuir el olor.
- Minimizar la exposición de los profesionales a contaminantes potenciales, y mantener un ambiente seguro, especialmente desde la pandemia COVID-19.

La capacidad de extracción del humo depende de la eficiencia y el tamaño del filtro (**Fig. 7-16**) que utilicen. También influyen la velocidad de flujo (recomendado, como mínimo, 0,012 m³/s), la posibilidad de variar la velocidad y el nivel de ruido (deseable por debajo de 60 dB), la ergonomía del aparato, la portabilidad, la rentabilidad y la facilidad de mantenimiento.

Algunos de los tipos de filtros disponibles son:

- De carbón: utilizan carbón activado, y pueden absorber gas y vapor, y eliminar el fuerte olor. Los filtros de carbón de coco, al tener poros más grandes, permiten una mejor absorción que los de madera. Filtran elementos químicos potencialmente tóxicos y oncogénicos.
- Filtros de partículas de aire de alta eficiencia: retienen partículas suspendidas en el humo, con una eficiencia del 99,97 % en partículas de más de 0,3 μm.
- Filtros de partículas de aire ultra bajas: retienen el 99,9 % de partículas de 0,1 μm, utilizando diferentes métodos de filtro dependiendo del tamaño de la partícula. Esto los convierte en los filtros ideales para partículas creadas en procedimientos electroquirúrgicos y con láser.
- Sistemas de triple filtro: combina un prefiltro para partículas grandes, un filtro de partículas de aire ultrabajas y un filtro de carbón que capta los productos químicos tóxicos presentes en el humo. Además, estos filtros suelen tener una capacidad de succión regulable para ajustarse a diferentes niveles de producción de humo.

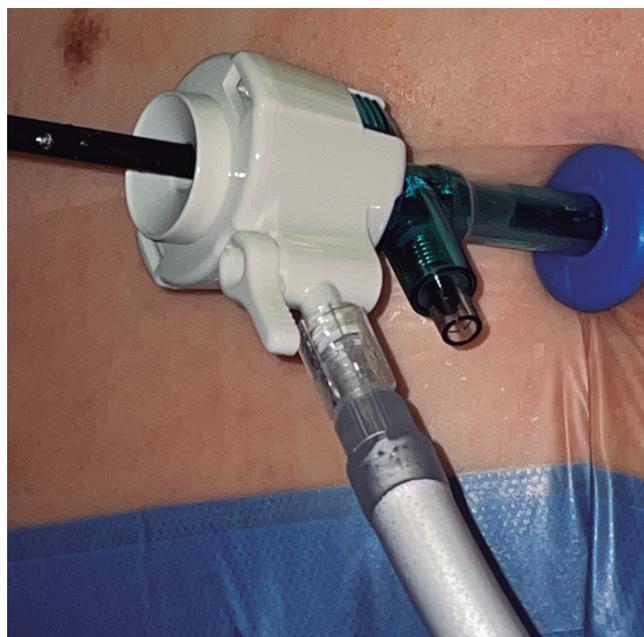


Figura 7-15. Sistema de extracción de humo conectado a trócar accesorio.



Figura 7-16. Filtro de sistema de extracción de humo.

Los sistemas de extracción de humo normalmente se usan con máquinas portátiles, aunque algunos pueden utilizarse con los sistemas de succión de pared. Dependiendo del filtro, pueden precisar recambio en cada cirugía o cada día. Casi todos los modelos disponen de una alarma que avisa de la necesidad de recambio. Siempre que baje la presión de succión o haya olor en el ambiente, será necesario el recambio. La eliminación del filtro se debe efectuar como elemento infeccioso o desecho de material médico, dependiendo de los protocolos del centro.



La capacidad de extracción del humo depende de la eficacia y tamaño del filtro que utilicen. Los sistemas de extracción de humo normalmente se usan como máquinas portátiles, y dependiendo del filtro pueden precisar recambio en cada cirugía o cada día.

A pesar de que muchas organizaciones médicas recomiendan el uso de extractores de humo, no están ampliamente extendidos debido al ruido excesivo, el alto coste, las necesidades de mantenimiento de los equipos, el excesivo volumen de algunas máquinas de extracción y la resistencia de los profesionales de quirófano.



El uso de extractores de humo durante la cirugía laparoscópica mejora la visibilidad del campo quirúrgico, previene la corrosión del material quirúrgico, disminuye el olor y minimiza la exposición de los profesionales a posibles contaminantes, por lo que es recomendable su uso.

FUENTES DE LUZ Y ENDOSCOPIOS

Las fuentes de luz y los laparoscopios forman parte del sistema de iluminación, puesto que generan la luz y la llevan hasta el campo quirúrgico: la cavidad abdominal. El laparoscopio, además, también forma parte del sistema de video ya que transmite la imagen desde el campo quirúrgico hasta la cámara.

Fuente de luz

La fuente de luz permite la visión de la cavidad abdominal al iluminar el campo quirúrgico. Es un generador de luz en el que se produce la luminiscencia.

La luz fría fue utilizada por primera vez por el alemán Hans Frangenheim en 1958. Permite la iluminación de la cavidad abdominal sin producir las quemaduras que produciría la luz convencional. La luz fría tiene un espectro de temperatura de color muy superior a la convencional (5.600 grados Kelvin de media frente a 3.200). Cuanto más alta sea la temperatura de color, más semejanza existirá con la luz solar, es decir, más blanca será. La luz solar tiene una temperatura de color de 6.400 grados Kelvin.

Los principales tipos de luz utilizados en laparoscopia (Fig. 7-17) son: la luz xenón (de cristal de cuarzo, con 6.000 grados Kelvin), la luz Metal Halido (5.000 grados Kelvin) y la luz halógena (3.400 grados Kelvin). La más recomendable es una fuente de luz xenón de alta intensidad con una lámpara de 300 W (vatios).

En estas fuentes, la luz se produce por la creación de un arco eléctrico mediante un filamento rodeado de una atmósfera de halogenuro metálico o de xenón. Las fuentes de luz HMI (del halógeno Hydrargyrum Medium arc-lengthIodide) emiten a 5.600 grados Kelvin, y las de xenón a unos 6.000, aproximadamente. El espectro de temperatura disminuye gradualmente con las horas de uso, por lo que requiere un «balance de blancos» previo a su uso y el recambio del filamento cuando se cumplan 250-500 h de uso, dependiendo de la fuente. Las últimas innovaciones en tecnología LED (diodo emisor de luz) están permitiendo prolongar la vida útil de las bombillas.

Además de la lámpara, la fuente de luz fría se compone de un filtro de calor, dispositivos reflectores y condensadores de la luz (que permiten concentrarla en un punto), y un circuito de control de la intensidad.

La luz se transporta desde la fuente de luz hasta el laparoscopio mediante un cable de luz fría (Fig. 7-18), compuesto por un sistema de fibras ópticas o de cristal líquido/gel. Los cables que contienen líquido tienen el inconveniente de ser menos flexibles y, en caso de angulación, la pérdida de luz es proporcional al grado. En cambio, la luz transportada por estos cables es más intensa que la de los cables de fibra de vidrio del mismo diámetro y longitud.

En general, de la luz inicial sólo un tercio llega al otro extremo del cable conductor, por fenómenos físicos de absorción y radiación. Por este motivo, es tan importante la potencia y la capacidad luminosa de la fuente de luz. Los cables de luz fría varían de 180 mm a 350 mm, y los más usados son de 2 m.

Además, los cables de luz requieren un mantenimiento especial: los de fibra óptica se pueden esterilizar en autoclave, mientras que los de cristal líquido se deben lavar en soluciones desinfectantes. Ambos tipos de cable conducen calor (aunque en mucho menor grado que con la luz convencional), por lo que hay que tener cuidado para no producir quemaduras.



La luz fría más recomendable es una fuente de luz xenón de alta intensidad con una lámpara de 300 W. Se transporta desde la fuente de luz hasta el laparoscopio mediante un cable de luz fría, compuesto por un sistema de fibras ópticas o de cristal líquido/gel.



Figura 7-17. Fuente de luz en laparoscopia.



Figura 7-18. Cable de luz en laparoscopia.

Laparoscopia

El laparoscopio (**Fig. 7-19**) es un tubo metálico rígido con doble camisa. En la camisa externa están las fibras de vidrio, que llevan la luz al campo quirúrgico, y la camisa interna aloja un canal por donde va el sistema óptico, que lleva la imagen del campo a la cámara.

La conexión cable de luz-laparoscopio debe tener una gran calidad óptica, para impedir la pérdida de luz, y ser mecánica, para evitar el sobrecalentamiento. Al final de la vaina externa, las fibras de vidrio se cortan, se pulen y se cubren, y forman una superficie emisora de luz hacia el campo quirúrgico.

El sistema óptico se compone de una lente convexa en el extremo, que está alineada con un conjunto de lentes a lo largo del canal, separadas por cilindros metálicos, que permiten la refracción de la luz y el aumento de la luminosidad de la óptica. Cada lente (entre 6 y 10, dependiendo de la longitud del laparoscopio) invierte la imagen respecto a la anterior, creando un sistema que se llama *Inverting Real Image Lens System* (IRILS). La última lente, llamada «lente ocular», magnifica la imagen antes de ser captada por la cámara. Además, se puede regular para poder enfocar la imagen durante la cirugía. Las lentes están tratadas con fluoruro de magnesio, un sistema antideslumbrante que intenta evitar la pérdida de luminosidad por la reflexión de la luz en las lentes.

El calibre del laparoscopio varía de 1 mm a 12 mm. Cuánto más fino sea el laparoscopio, menos luminosidad tendrá la imagen y menor será el campo visual, y lo contrario sucede con los de mayor calibre, por lo que se recomienda usar los finos en procedimientos sencillos y los gruesos en las cirugías complejas que requieran mejor visión y un mayor campo visual.

El ángulo de visión del laparoscopio varía entre los 0 y los 90 grados (**Fig. 7-20**). El más usado es el de 0 grados, que presenta como ventajas que es efectivo para la mayoría de los procedimientos, y aporta mayor luminosidad, campo de visión y sensación de profundidad. Sin embargo, los laparoscopios con angulación (en ginecología habitualmente se usan los de 30 grados) permiten visualizar zonas del campo quirúrgico en las que el endoscopio de 0 grados se ve limitado, como el área paraaórtica o el suelo de la pelvis. En estos casos, hay que tener en cuenta que la cámara debe mantenerse fija para evitar la rotación de la imagen.



En la camisa externa del laparoscopio están las fibras de vidrio y la camisa interna aloja un canal por donde va el sistema óptico. El calibre del laparoscopio varía de 1 mm a 12 mm. Cuánto más fino sea, menos luminosidad tendrá la imagen y menor será el campo visual. El ángulo de visión del laparoscopio varía entre 0 y 90 grados. El de 0 grados aporta mayor luminosidad, campo de visión y sensación de profundidad.

Merecen especial mención los laparoscopios para cirugía de puerto único o incisión única. En ellos se debe evitar el choque de los instrumentos dentro o fuera del abdomen. Se suelen utilizar ópticas de menos tamaño (5 mm) y lentes

anguladas para obtener la imagen por encima o debajo de los otros instrumentos. Otra opción sería un laparoscopio flexible, que aporta un campo de visión de 100 grados. También hay sistemas semirrígidos, que permiten alternar entre punta rígida o flexible mediante un botón.

Como se expone a continuación en los sistemas de imagen, existen laparoscopios que permiten la visión en tres dimensiones o estereoscópica. Los estereoscopios se caracterizan por tener una captación doble de imagen por dos cámaras diferentes, una junto a la otra. Para crear la imagen cerebral en 3D, se pueden utilizar gafas adaptadas a visión 3D con proyección de las imágenes en el monitor habitual de laparoscopia, o proyectar una imagen para cada ojo, en una consola desarrollada para ello, como se explicará que sucede en la cirugía robótica.

SISTEMAS DE VISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN

El equipo de videoendoscopia está compuesto por tres elementos: la cámara, el monitor y el sistema de videograbación.

La cámara

La cámara de videoendoscopia (**Figs. 1-21 y 1-22**) permite captar las imágenes del campo quirúrgico y mostrarlas en un monitor de imagen en tiempo real. La cámara ideal para cirugía endoscópica es pequeña, de bajo peso, ergonómica y de alta resolución. Para operar en condiciones de seguridad, es indispensable una alta calidad de la imagen.

La imagen se crea por un sensor, que se activa al pasar el haz de luz transportado por el sistema óptico desde el campo quirúrgico. Este sensor emite una señal eléctrica que se transmite hasta el monitor, donde se convierte en imagen. La señal mínima para activar el sensor es de 3 lux (3 CCD). El sensor de laparoscopia es un procesador digital de alto contraste y tiene una resolución mayor de 450 líneas.



Figura 7-19. Laparoscopio.



Figura 7-20. Laparoscopios de 0 y 30 grados.

La cámara está formada por dos componentes:

- Un dispositivo que permite acoplarlo al laparoscopio, y que tiene un sistema de enfoque y de zoom de la imagen.
- El videosensor, formado por chips o receptores fotocelulares llamados CCD (*charge-couple device*): puede contener uno o tres CCD. Los videosensores de un CCD captan en su único chip los tres colores primarios (verde, rojo y azul). En los de 3 CCD cada chip capta un color, enviando la señal eléctrica en tres haces de luz, por lo que la imagen presenta colores más reales y con mayor definición. Cuántos más videosensores tenga la cámara, mayor resolución tendrá, ya que cada sensor origina un píxel. Las cámaras con 3 CCD tienen una resolución de hasta más de un millón de píxeles y 1.200 líneas.

En los últimos años, la tecnología ha permitido desarrollar laparoscopios que contienen el CCD en su extremo distal, por lo que la captación de la imagen es intracorpórea y no pierde luminosidad ni calidad por el paso por el sistema óptico. La imagen obtenida por este sistema es de muy alta calidad (**Fig. 1-23**).



La cámara está formada por dos componentes:

- Un dispositivo que permite acoplarlo al laparoscopio y que tiene un sistema de enfoque y de zoom de la imagen.
- El videosensor formado por chips o receptores fotocelulares llamados CCD.



Figura 7-21. Cámara de endoscopia, vista lateral.



Figura 7-22. Cámara de endoscopia, vista frontal.

El monitor

El monitor de endoscopia, al igual que las televisiones domésticas, es un tubo analógico de rayos catódicos o un monitor digital de pantalla plana. Actualmente, sólo se utilizan monitores digitales para endoscopia, que permiten al cirujano y al equipo quirúrgico seguir el procedimiento. La resolución del monitor para cirugía endoscópica debe ser igual o superior a la de la cámara, para preservar la calidad de la imagen. Es aconsejable trabajar con dos o más monitores (para el cirujano, el ayudante y para el resto del personal del quirófano), de 15-30 pulgadas y con un poder de resolución horizontal superior a 625 líneas.

La distancia adecuada de trabajo respecto al monitor es de 1 m a 1,5 m.



Para operar en condiciones de seguridad, es indispensable una alta calidad de imagen.

Tipos de sistemas de visión:

1. Full HD (*High Definition*): es el sistema de visión básico para laparoscopia (**Fig. 7-24**). Full HD o FHD se refiere a la resolución de la imagen de una pantalla. La resolución FHD es de 1.920×1.080 píxeles (ancho por alto), aproximadamente el doble que para HD con 1.280×720 píxeles.



Figura 7-23. Cable de luz, laparoscopio y cámara, ensamblados.



Figura 7-24. Sistema de visión full HD.



Figura 7-25. Sistema de visión 4K en quirófano integrado.



Figura 7-26. Ginecólogas con gafas 3D durante una laparoscopia.

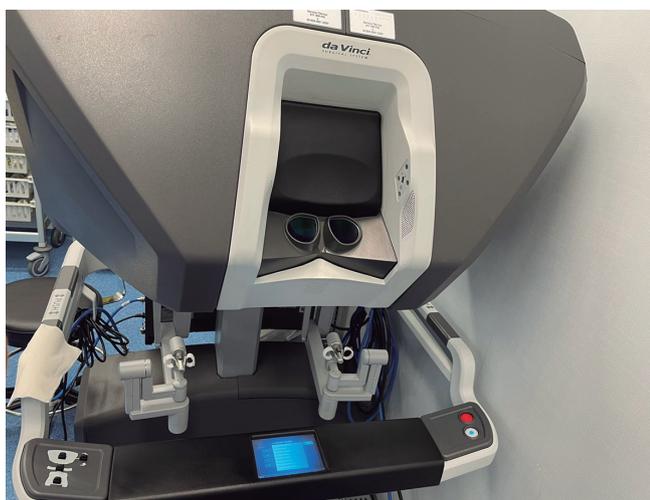


Figura 7-27. Consola de cirugía robótica con visión 3D.

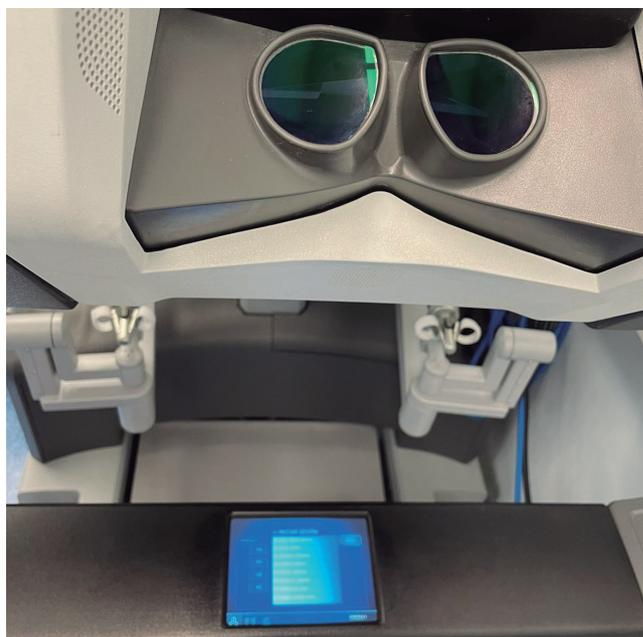


Figura 7-28. Visor 3D de la consola de cirugía robótica.

2.4K (Fig. 7-25): a diferencia del Full HD, son monitores que ofrecen una resolución de aproximadamente 4.000 píxeles en horizontal: habitualmente 3.820×2.160 píxeles, pero también otras resoluciones, siempre que sean aproximadamente 4.000. También se denominan *Ultra High Definition* (UHD).

3. 3D: son sistemas que permiten asemejar la cirugía endoscópica (tradicionalmente en dos dimensiones, con pérdida de la sensación de profundidad) a la cirugía abierta, en la que los ojos del cirujano ven en tres dimensiones. Para ello, se utilizan estereoscopios, que son sistemas de imagen que mezclan dos imágenes, una al lado de la otra, a semejanza de la visión humana. El factor limitante de esta tecnología afecta a la forma en que se proyectan las imágenes para que el cerebro perciba la imagen en tres dimensiones. Una opción es el uso de gafas especiales para visión en 3D (Fig. 7-26), aunque esto a veces no es práctico porque el cirujano puede necesitar la visión directa para algunos momentos de la cirugía. Sin embargo, actualmente es la única opción, porque de momento no está disponible la tecnología para proyectar imágenes 3D sin usar gafas, aunque sí existe. Además, requeriría situarse en un ángulo específico respecto a la pantalla, lo que no es práctico dentro del quirófano.

En este momento, la cirugía en 3D se suele reservar para intervenciones complicadas y que requieren gran precisión. Un ejemplo es la cirugía robótica, que utiliza dos cámaras que imitan los ojos humanos. La imagen que han obtenido se transmite a la consola del cirujano principal (Fig. 7-27), y éste ve las imágenes (Fig. 7-28) por dos pantallas separadas, una para cada ojo. Este método «engaña» al cerebro del cirujano para ver la imagen conjunta en 3D, dando una visión similar a la cirugía abierta, y a la vez manteniendo las ventajas de la laparoscopia.



Actualmente, solo se utilizan monitores digitales para endoscopia. La resolución del monitor debe ser igual o superior a la de la cámara. Es aconsejable trabajar con dos o más monitores.

La distancia adecuada de trabajo respecto al monitor es de 1 m a 1,5 m.

Tipos de sistema de visión:

- Full HD.
- 4K.
- 3D.

MÓDULOS DE GRABACIÓN

La tecnología digital ha permitido la grabación de imágenes conservando intacta su calidad. Una de las ventajas de la cirugía endoscópica frente a la abierta es la posibilidad de grabar las imágenes para volver a verlas después (**Fig. 7-29**), algo que es de gran utilidad para fines docentes y científicos, así como para la revisión por el propio equipo quirúrgico. Se debería grabar toda intervención quirúrgica endoscópica, para poder revisar la técnica, detectando errores o áreas de mejora.

Al igual que en los equipos domésticos, las grabaciones se pueden almacenar en CD-ROM, DVD, USB o en disco duro, aunque algunos de estos sistemas están ya obsoletos. Algunas compañías ofrecen sistemas de grabación a nivel hospitalario, dentro del contexto del quirófano integrado. En España, de momento no está muy extendida esta opción debido al elevado coste.

Una de las ventajas de la cirugía endoscópica frente a la cirugía abierta es la posibilidad de grabar las imágenes.



Figura 7-29. Sistema de videograbación de la torre de endoscopia.



CONCLUSIONES

- La cirugía endoscópica es muy tecnológica, y precisa de un material y unos conocimientos específicos.
- Son muy importantes tanto la formación en esta disciplina como el conocimiento y la actualización continua sobre los avances en este campo que está en desarrollo.
- El cirujano endoscopista debe conocer el material y el aparataje que necesita en el quirófano y, además, su funcionamiento, ya que es responsable de los errores que se produzcan durante la cirugía, que pueden ser de origen humano o técnico.

BIBLIOGRAFÍA

Autorino R, Cadeddu JA, Desai MM, et al. Laparoendoscopic single-site and natural orifice transluminal endoscopic surgery in urology: a critical analysis of the literature. *Eur Urol.* 2011;59:26.

Berber E, Siperstein AE. Understanding and optimizing laparoscopic videosystems. *Surg Endosc.* 2001;15:781.

Boppart SA, Deutsch TF, Rattner DW. Optical imaging technology in minimally invasive surgery. Current status and future directions. *Surg Endosc.* 1999;13:718.

Boyers S. Operating Room Setup and Instrumentation. *Clin Obstet Gynecol.* 1991;34(2):373-386.

Kong SH, Oh BM, Yoon H, et al. Comparison of two- and three-dimensional camera systems in laparoscopic performance: a novel 3D system with one camera. *Surg Endosc.* 2010;24:1132.

Mowbray N, et al. Safe management of surgical smoke in the age of COVID-19. *Br J Surg.* 2020 Oct;107(11):1406-1413.

Park A, Charash WF, Shaw M. The future of imaging in minimally invasive surgery. *SurgEndosc.* 2000;14:517.

Sociedad Española de Ginecología y Obstetricia, Sección de Endoscopia. *Tratado de Laparoscopia Ginecológica.* Madrid:Equium, 2011.