



## Artículo de revisión

### CIRUGÍA ENDOSCÓPICA

Vol. 14 Supl. 1 Abr.-Jun. 2013

# La revolución pedagógica en la cirugía, Parte III. Metodología de la enseñanza de destrezas psicomotoras: los simuladores

César Quirarte Cataño,\*,\*\* Jorge D Muñoz Hinojosa\*\*

#### Resumen

La presente parte III de IV está dedicada a los nuevos instrumentos del aprendizaje de habilidades psicomotoras en cirugía: los simuladores. Se discurre sobre el papel de la simulación en el entrenamiento quirúrgico en sus tres enfoques: 1) como herramienta didáctica, 2) como instrumento de medición (evaluación objetiva) y 3) como recurso de investigación. Se analiza la diferencia entre simuladores y simulacros y su campo de aplicación. Se establece el propósito primordial de la simulación en cirugía como la adquisición y el perfeccionamiento de habilidades y destrezas psicomotoras transferibles a la cirugía real en el paciente real. Se analizan las dificultades que la interfase tecnológica en la cirugía laparoscópica presenta en relación con la cirugía tradicional y la importancia de tal diferencia en el entrenamiento por medio de simuladores. Se describen los tipos y la fidelidad de los simuladores para entrenamiento quirúrgico; los modelos mecánicos, los modelos de realidad virtual y los biológicos, con algunos ejemplos. **Metodología:** Se realizó una búsqueda por internet a través de Medline, Pubmed NCBI, Google Académico, Medigraphic y Wikipedia, utilizando los descriptores: «surgical education», «surgical teaching», «simulators in surgery», «surgical competencies», «metodología de la investigación», «teorías del aprendizaje», «aprendizaje de destrezas motoras» y mediante la consulta de algunos libros originales sobre los temas tratados.

**Palabras clave:** Educación quirúrgica, competencias en cirugía, cambio de paradigmas en cirugía, simuladores quirúrgicos, aprendizaje de destrezas motoras, evaluación de destrezas psicomotoras.

#### Abstract

This part III out of IV is dedicated to the new instruments in surgical skills training: the simulators. We discuss about the three roles of simulation in surgery: 1) as a training device, 2) as a measuring instrument of skills (objective assessment) and 3) as a research tool. The difference between simulators and simulations and their field of application. The primary purpose of surgery simulation: the acquisition and improvement of psychomotor technical skills transferable to real surgery in the actual patient. Analysis of the difficulties posed by the technological interface in laparoscopic surgery in relation to traditional surgery and the importance of such a difference in training, using simulators. Types and fidelity of simulators for surgical training; mechanical models, virtual reality models and biological models, with some examples. **Methods:** We conducted an online search through Medline, Pubmed NCBI, Google Scholar, Medigraphic and Wikipedia, using the key words: «surgical education», «surgical teaching», «simulators in surgery», «surgical competencies», «research methodology», «theories of learning», «psychomotor skills learning» and by consultation of some original books on the subject.

**Key words:** Surgical education, competence in surgery, surgery simulation, surgical simulators, learning of motor skills, evaluation of psychomotor skills.

## METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA DE DESTREZAS PSICOMOTORAS: LOS SIMULADORES

### El papel de la simulación en el entrenamiento quirúrgico

Ya no es aceptable o apropiado, que los estudiantes de cualquier nivel de entrenamiento practiquen nuevas habilidades en el paciente, aun contando con el consentimiento explícito del mismo.

Aggarwal y Darzi<sup>1</sup>

\* Centro de Entrenamiento en Cirugía Endoscópica (Asociación Mexicana de Cirugía Endoscópica, A.C.).

\*\* Departamento de Cirugía. Hospital Ángeles Lomas.

Correspondencia:

Dr. César Quirarte Cataño

Clinica Florida Satélite.

Enrique Sada Muguerza Núm. 1 Consultorio 3  
Ciudad Satélite, 53100, Naucalpan, Estado de México.

Tel: (55) 55726449

E-mail: cesarquirarte@prodigy.net.mx

El papel decisivo de la simulación en la cirugía cumple con tres objetivos esenciales: 1) servir como herramienta didáctica, 2) como instrumento de medición (evaluación objetiva) y 3) como recurso de investigación. (Ver parte I, inciso 1.16).

- 1) Como herramienta didáctica del componente psicomotor en las competencias del cirujano. En incisos previos se ha fundamentado el potencial de la simulación de trasladar una parte importante de la curva de aprendizaje del quirófano al laboratorio con la consecuente reducción en la tasa de errores y de complicaciones en beneficio de la seguridad del paciente tanto para el adiestramiento en técnicas específicas como para el manejo hábil de nuevos instrumentos y otros accesorios, mediante su impacto positivo en el nivel de competencia del cirujano (parte II, inciso 2.19). Como se ha mencionado, la simulación es promovida como elemento esencial y obligatorio del currículo de las residencias quirúrgicas por parte de influyentes organizaciones como el «American College of Surgeons» la «Association of Program Directors in Surgery», además de otras organizaciones profesionales y académicas en diferentes países.<sup>2-4</sup>
- 2) Como instrumento de medición (evaluación objetiva). Las posibilidades de estandarización de pruebas mediante la simulación y los simuladores, los convierten en instrumentos idóneos para la evaluación y medición de las habilidades técnicas del educando. Esta función tiene valor en los procesos de autoevaluación o retroalimentación y en las tareas de credencialización y certificación de las capacidades técnicas del cirujano novel.
- 3) Como recurso de investigación. Históricamente, la investigación médica y quirúrgica se ha valido de modelos biológicos en el desarrollo, prueba y ensayo de nuevas técnicas, procedimientos e instrumentos quirúrgicos. Ha sido tradicional que las escuelas de medicina y las instituciones de enseñanza cuenten con departamentos de cirugía experimental. Los nuevos modelos, técnicas y metodologías convierten a la simulación en un valioso recurso de investigación quirúrgica.

### **La simulación. Una nueva e inevitable asignatura para el cirujano**

Los cirujanos, siempre como aprendices de nuestra materia y a veces como docentes, de una u otra manera tendremos que involucrarnos en este inédito y vasto campo de la simulación, lo que implica la adquisición de un nuevo catálogo de conocimientos y habilidades técnicas, una nueva terminología y una flamante cultura.

El desarrollo reciente de una constelación muy variada de simuladores inanimados tanto de realidad física como

de realidad virtual y experiencias generadas por computadora, han convertido a la simulación en una verdadera asignatura en sí misma y en una compleja industria en rápido crecimiento que conjunta elementos de tan variadas disciplinas como la psicopedagogía, la psicometría, la ingeniería cibernética, la tecnología de nuevos materiales y la estadística aplicada, de las cuales ha importado incluso nuevos lenguaje y nomenclatura.

### **Los simuladores y los simulacros**

En el universo de la simulación se distinguen dos grandes campos: el de los simuladores y el de los simulacros.

Los simuladores son dispositivos o materiales que por un lado, hacen las veces de los tejidos u órganos sobre los cuales se «simula» trabajar y por otro lado, recrean las condiciones del campo quirúrgico reproduciendo las condiciones y dificultades técnicas e instrumentales de la cirugía endoscópica o de otros ambientes particulares.

Los simulacros, por su parte, son representaciones tanto de situaciones habituales y rutinarias como de eventos inesperados y muchas veces catastróficos. Los simulacros se valen frecuentemente de los simuladores para el montaje de escenas o escenarios y son idóneos para ensayos y ejercicios de trabajo en equipo, lo que redunda en una mejoría importante en los tiempos de respuesta, en la eficacia de las tareas grupales y en el éxito de los procesos y procedimientos.<sup>2,5,6</sup>

En relación con los simulacros, un concepto interesante, recientemente emitido por Satava, establece una analogía entre el proceso coreográfico de la danza y el campo de la cirugía, ya que en ambos se manejan conceptos como tiempos, movimientos, coordinación, sincronización, ritmo, transiciones, etc. que deben ensayarse hasta la perfección para tener una ejecución impecable del grupo o del equipo de trabajo.<sup>7</sup>

La cirugía se ha inspirado y ha aprendido de las experiencias en el desarrollo y utilización exitosa tanto de simuladores como de simulacros en otros sectores e industrias, notablemente el de la aviación, con el cual existen elementos de equivalencia.<sup>8,9</sup>

### **El enfoque simplista y equivocado**

En las últimas décadas la producción de simuladores de diferentes tipos ha ido en aumento y a la fecha existe una gran desorientación en cuanto a su uso, aplicabilidad, beneficios, ventajas y desventajas de unos y otros. Parece haber un enfoque simplificador por parte de los docentes que orientan a los principiantes a «entrenar» en simuladores sin tener una noción clara de lo que tratan de conseguir.

Además, con frecuencia la elección de un simulador se realiza con base en su apariencia física o en lo sofisticado

de su tecnología. De manera errónea, muchos médicos creen que el mejor simulador es aquél que se parezca o que reproduzca mejor la anatomía real y tienden a aceptar la validez y utilidad del instrumento en base a su aspecto. En otras palabras, «el mejor simulador es el más bonito» y «cuanto más sofisticado, mejor». Aunque estos atributos en un simulador pueden ser cualidades, existen otras características funcionales que son definitivamente prioritarias en lo que se refiere a su utilidad y eficiencia didácticas.

### **El enfoque correcto**

Stefanidis es muy enfático al señalar que cualquier programa de entrenamiento basado en simuladores es dependiente de la calidad de su currículo más que de la herramienta o de las herramientas (simuladores) utilizadas.<sup>10</sup>

Por lo tanto, el elemento clave en el uso exitoso de simuladores es que éstos se integren al currículo durante todo el tiempo del entrenamiento, encauzados a una práctica deliberada que conduzca al desempeño experto (expertise). Por analogía, el número de años que alguien dedique a la práctica de un deporte o de una profesión guarda una relación impredecible y limitada con la calidad de su desempeño. Lo que sí se correlaciona con la calidad del desempeño es el volumen, constancia y protocolo en su práctica deliberada, que por definición incluye «retroalimentación informativa y oportunidades para la repetición y la corrección de los errores».<sup>11</sup>

Por lo tanto, los dos atributos funcionales imprescindibles de un simulador son: 1) su potencial para emular las condiciones de la tarea o procedimiento que se planea aprender y 2) su capacidad para proporcionar o permitir mediciones cuantitativas, confiables y válidas del desempeño del practicante.

Gallagher y O'Sullivan enfatizan esta última característica y señalan que un simulador que no ofrezca o permita tales mediciones objetivas, no es más que un «videojuego» lujoso. También advierten lo novedoso de estos enfoques y de las técnicas que les dan cuerpo, mismas que han sido investigadas, debatidas y aceptadas como estándares internacionales en otros campos, como el de la psicología educativa.<sup>12</sup>

Por lo tanto, la primera condición que el educador debe especificar se refiere a las competencias a alcanzar en cada etapa del entrenamiento y los respectivos parámetros de desempeño; la segunda condición se refiere a los métodos y escalas de medición correspondientes.

Al mismo tiempo el educador debe familiarizarse con las características, potencialidades, ventajas y desventajas de cada simulador disponible en términos de costo beneficio y accesibilidad con objeto de hacer una elección de las herramientas didácticas adecuadas en cada caso.<sup>12,13</sup>

### **La evaluación «formativa» y la evaluación «sumativa»**

En materia del entrenamiento se distinguen dos tipos de evaluación: la «formativa» y la «sumativa». La primera o formativa es también llamada retroalimentación y proporciona información al practicante y a su instructor acerca del progreso del entrenamiento con objeto de corregir el rumbo y rectificar errores. En la práctica deliberada la retroalimentación debe ser inmediata. El segundo tipo de evaluación o «sumativa», generalmente se realiza con fines de promoción, credencialización o certificación.<sup>14 (I)</sup> Esta última, tradicionalmente ha sido llamada calificación.

### **La «transferencia de habilidades»: del laboratorio al quirófano**

El propósito primordial de la simulación en cirugía es la adquisición y el perfeccionamiento de habilidades y destrezas psicomotoras transferibles a la cirugía real, en el paciente real.<sup>15-17</sup>

La «transferencia de habilidades» y la «generalización de habilidades» son dos términos que aluden a dos fenómenos muy similares, aunque técnicamente diferentes, relacionados con el proceso de aprendizaje de destrezas psicomotoras.<sup>18 (II)</sup> Sin embargo, con gran frecuencia y para fines prácticos, ambos son designados indistintamente como «transferencia de habilidades» o «transferencia de entrenamiento», aludiendo a la mejoría en la habilidad y pericia del cirujano en el paciente real, como consecuencia de las destrezas adquiridas en un simulador.

El alcance de la transferencia de habilidades entre dos tareas depende de la similaridad entre dichas tareas. Esto implica que cuando las habilidades aprendidas en un simulador son las apropiadas, se consigue un aprovechamiento eficaz en el quirófano. Sin embargo, si el aprendizaje original de determinadas habilidades en el simulador es incompleto o deficiente, la transferencia será igualmente incompleta o deficiente. Lo anterior tiene relevancia en los cursos o talleres breves carentes de reforzamiento ulterior de las habilidades relevantes.<sup>19</sup>

La transferencia no es exclusiva del entrenamiento en simuladores o del dominio psicomotor en la cirugía, también constituye un objetivo primordial de los otros dominios del aprendizaje como el cognitivo y el afectivo.

<sup>1</sup> Los términos formativo y sumativo no se aplican al instrumento de evaluación (en este caso al simulador), sino a la manera en que se utiliza la información resultante.

<sup>2</sup> La «generalización» de habilidades, se refiere a la situación en la que el estudiante aprende y adquiere las destrezas genéricas y básicas necesarias para realizar una tarea o un procedimiento real (ejercicios preparatorios). «Transferencia» es la modalidad de entrenamiento que directamente imita o simula la tarea que será practicada en vivo en la situación de prueba.<sup>46</sup>

Las competencias del cirujano en todos los órdenes se deben expresar en su actuación profesional, de gabinete, de hospital y de quirófano.

### **La demostración de la transferencia**

En congruencia con el método científico y con los principios rectores actuales de la educación médica, basados en la competencia y en la medición de resultados, debe existir una demostración objetiva de transferencia.

Idealmente, las mediciones tomadas en el laboratorio de destrezas deben reflejar valores de desempeño de calidad en el contexto clínico y deben ser predictivas de la pericia en el quirófano.<sup>20</sup> Repitiendo lo enunciado previamente (inciso 3.4): «retroalimentación informativa y oportunidades para la repetición y la corrección de los errores».<sup>11</sup> Es decir, debe probarse que un método, una técnica, una fórmula, un programa o un sistema de entrenamiento del cirujano en el contexto del laboratorio, efectivamente se traduzca en un desempeño competente en el quirófano. Lo anterior requiere mediciones precisas, creíbles, confiables y válidas. Además, las mediciones objetivas de desempeño en el simulador deben ser predictivas de la ejecución en el quirófano, que serán tratados en la parte IV.

### **El problema: la interfase tecnológica en la cirugía endoscópica**

Los dramáticos avances tecnológicos que dieron lugar a la aparición de la cirugía endoscópica son precisamente los que también determinan las destrezas y las habilidades diferentes, nuevas e inéditas que debe adquirir el cirujano para practicar cirugía endoscópica con pericia y seguridad.

Entender las diferencias que la interfase tecnológica impone en la nueva cirugía es un tema fundamental tanto para el docente como para el educando. Por lo tanto, la etapa inicial de dicho entrenamiento debe concentrarse en los ejercicios y prácticas genéricas que permitan la adaptación del practicante al nuevo entorno tecnológico, con un nivel óptimo de automatismo antes de iniciar el entrenamiento en técnicas y procedimientos específicos.<sup>2,19,21</sup>

Siguiendo este orden de ideas y la lógica secuencial descrita en los incisos 2.25 y 2.26 (parte II), como paso previo a la descripción y al análisis del potencial y de las características de los diferentes simuladores existentes en el mercado, el cirujano instructor debe conocer las diferencias entre la cirugía endoscópica y la cirugía tradicional abierta, ya que son precisamente estas diferencias las que primero deben ser emuladas y reproducidas por un simulador con el objeto de llevar a cabo el entrenamiento correspondiente.

### **La cirugía «diferente»**

La cirugía endoscópica es más difícil porque es diferente e inédita. Comparada con la cirugía tradicional, señalar que

la cirugía endoscópica es una técnica más difícil o que presenta dificultades particulares, es un enunciado inexacto. El planteamiento acertado es que la cirugía endoscópica es un método distinto e innovador que requiere de habilidades nuevas e inusitadas por parte del cirujano.

La cirugía laparoscópica implica una combinación de habilidades técnicas, espaciales y psicomotoras muy diferentes en su complejidad a las propias de la cirugía abierta tradicional, ya que su ejecución requiere de manipulaciones y prácticas «antinaturales» que no corresponden a comportamientos «innatos o intuitivos». Por lo tanto, la adquisición de dichas habilidades es ardua y requiere de un entrenamiento con base en una práctica deliberada extensa.<sup>22-25</sup>

Cuando se analizan las cruciales diferencias técnicas que existen entre la cirugía endoscópica y la cirugía tradicional, se puede suponer que conducir un automóvil guiado por un sistema de video sería posiblemente más fácil que hacer cirugía endoscópica.<sup>11</sup>

### **Las diferencias de la cirugía endoscópica**

#### **1) Pérdida de la visión tridimensional**

La pérdida de la visión tridimensional, como fue consignada inicialmente, es un enunciado muy simplista del fenómeno que enfrenta el cirujano en el contexto de la cirugía endoscópica.

El problema perceptual en realidad es mucho más complejo, ya que el cirujano no sólo debe interpretar la información tridimensional en un monitor bidimensional, como cuando se observa pasivamente una pantalla de televisión, sino que además debe interactuar y manipular los tejidos, guiado por la imagen dinámica proyectada en la pantalla. Esto significa realizar juicios continuos de profundidad y de volumen, que en cirugía son verdaderamente críticos («habilidades cinematográficas guiadas visualmente»).

Mediante la visión binocular, el cerebro normalmente procesa una imagen tridimensional o estereoscópica, explotando el paralaje de dos perspectivas simultáneas para obtener la percepción de profundidad y estimar la distancia de los objetos («disparidad binocular»).

Cuando la visión binocular se pierde transitoria o permanentemente, como cuando se ocluye uno de los ojos, entra en juego una serie de mecanismos de compensación, «claves» o «pistas» que permiten hacer juicios de profundidad de campo a partir de una sola fuente de visión (mecanismos que por cierto son sumamente eficientes). Una de tales «claves» o «pistas» que permite integrar una imagen estereoscópica a partir de perspectivas diferentes, aun con un solo ojo se consigue mediante pequeños cambios de posición de la cabeza, («paralelaje de movimiento»), en contraste con la «disparidad binocular» de la visión con dos ojos.<sup>26-28</sup>

<sup>11</sup> Nota del autor CQC.

Otro mecanismo compensatorio en la visión monocular es normalmente ejecutado por cambios tensionales, realizados por los músculos oculares para mantener la imagen enfocada. Este mecanismo es de dos clases: de acomodación (ajuste del cristalino para enfocar un objeto) y de convergencia (rotación horizontal y hacia adentro de los ojos para apuntarlos al objeto). Durante la cirugía endoscópica, dichos ajustes de acomodación proporcionan información del monitor observado, mas no proporciona información de los objetos en él proyectados.

Un mecanismo compensatorio suplementario se obtiene de las sombras proyectadas, mismas que no se producen con la tecnología de emisión de luz frontal de los actuales endoscopios. Por esta razón, incluso se han diseñado laparoscopios con iluminación adicional («shadow telescope») que están en fase de prueba.<sup>27</sup>

La posibilidad de utilizar los sutiles mecanismos de compensación mencionados se pierde al obtener la imagen procesada a partir de la perspectiva de un solo punto, captada por la cámara endoscópica.

Para complicar aún más las cosas, la imagen de trabajo del cirujano endoscopista es magnificada, lo que altera los parámetros de «escala», y es «pixelada», lo que se traduce en dificultades adicionales en el procesamiento de la información visual, sin contar con otros frecuentes problemas generales de percepción como una resolución reducida, lente fuera de foco y suciedad o vapor en el mismo.<sup>12,29,30</sup>

Por lo tanto, en las condiciones mencionadas, el operador intervencionista o endoscopista debe adaptarse a las nuevas perspectivas y escalas, y transitar por un periodo de entrenamiento suficiente que le permita acostumbrarse a utilizar con seguridad y naturalidad otras fuentes de información de profundidad de campo.

En general, dichas fuentes de información alternativas consisten en claves «pictóricas» de la imagen proyectada como tamaño, altura relativa, perspectiva lineal, interposición y superposición de órganos e instrumentos, dinámica de luces y sombras, contraste de colores y perspectiva aeroespacial, que tal como se ha mencionado, requieren de un entrenamiento especial.<sup>12,24,30</sup>

### *1a) La tercera dimensión*

En teoría, la tecnología de tercera dimensión podría solucionar una parte importante del problema visoespacial que generan los sistemas bidimensionales. Sin embargo, los sistemas de tercera dimensión, muy difundidos en el campo del entrenamiento, no se han incorporado de manera plena a la cirugía endoscópica principalmente por inconvenientes técnicos relacionados con el grado de calidad de la imagen, con el esfuerzo visual requerido y confort del cirujano, además de su elevado costo.

En cuanto a la calidad, existe una diferencia entre la tercera dimensión para la observación pasiva de las

imágenes dinámicas, como en los sistemas dedicados al entrenamiento, y la calidad que se requiere para una actividad interactiva de «grado quirúrgico» en donde las características de profundidad de campo y de volumen son críticas para realizar maniobras finas, como cortes y suturas en los elementos anatómicos.<sup>26,27</sup>

El principio original de la tecnología tridimensional se basa en la integración de la información pictórica procedente de dos canales de captura diferentes y en la utilización de lentes o de pantallas de cristal líquido que alternan la imagen proyectada para cada ojo mediante mecanismos de cierre (shutter).

La mayor sofisticación y la incorporación de la «alta definición» (HD) a los sistemas recientes de 3D, ofrece más calidad. Los estudios publicados de la experiencia con estos sistemas reconocen una mejoría en el desempeño de los cirujanos y en la disminución de errores, pero todavía no se consiguen resultados plenamente satisfactorios; además de que las molestias experimentadas por el personal, aunque menores, persisten como un inconveniente.<sup>31,32</sup>

Los sistemas robóticos incorporan tecnología muy avanzada de tercera dimensión («Da Vinci» Robotic System<sup>IV</sup>). Un estudio comparativo de este sistema con otros de tercera dimensión (Viking 3D Vision System<sup>V</sup>) y los bidimensionales, muestran que el desempeño de las tareas ensayadas con la visualización 3D es superior a la de 2D, independientemente de la experiencia laparoscópica del participante o de la dificultad de la tarea o de la modalidad quirúrgica.<sup>33</sup>

En laparoscopia, la clave de la ergonomía visual de 3D consiste en poder capturar una escena en un espacio anatómico reducido y mostrarla con amplificación en un monitor 3D en el quirófano.

Por un lado, el rango de distancia óptimo de estereopsis es de 0.5 a 5 m, que es aproximadamente 12 veces mayor que la distancia entre la lente frontal del laparoscopio y el objeto. La amplificación en ancho y en alto es una función del tamaño de la pantalla 3D comparada con las dimensiones del campo operatorio. Por otro lado, la amplificación en profundidad y por consiguiente la plasticidad de la imagen es definida por la distancia entre los dos focos de captura de la cámara (como ocurre con la distancia interpupilar de los ojos) que registra una perspectiva derecha y una izquierda; distancia que en el caso del laparoscopio de dos canales es muy estrecha. Esto hace que la física de la proyección de la imagen capturada en el contexto endoscópico sea muy diferente a la de las imágenes capturadas para la cinematografía. Todo lo anterior se traduce en problemas con la profundidad de foco y con distorsiones periféricas y otras distorsiones provocadas con los cambios de rotación de la lente.<sup>27</sup>

<sup>IV</sup> Da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical Inc, Sunnyvale, CA, USA).

<sup>V</sup> EndoSite 3D Digital Vision System (Viking Systems, La Jolla Calif, USA).

Recientemente también han aparecido tecnologías de un solo canal. Una de ellas, propuesta por la compañía coreana Wasol, se basa en el cambio del trayecto de la luz utilizando la diferencia de densidad entre dos objetos. Este sistema de un solo canal posee un mecanismo que cambia los ejes de polarización de la luz en dos distintas trayectorias que pueden ser captadas por el espectador mediante lentes ligeros con eje de polarización diferente para cada ojo y que a la vez permiten la visión del entorno del quirófano sin dificultad. Además, la tecnología se puede integrar a sistemas de monitores 3D que muestran imágenes en ejes múltiples y que permiten observar la tercera dimensión sin la necesidad de lentes. Otra ventaja del nuevo sistema es que permite ajustar la profundidad de campo, que en este sentido es superior a los sistemas previos. Un estudio reciente, sugiere que este sistema es superior en la precisión del desempeño laparoscópico (tiempo de ejecución de las tareas y tasa de errores) con molestias para los cirujanos (mareo) en rangos tolerables.<sup>34</sup>

Otro hecho interesante en relación con este tema que se puso de manifiesto a partir de la investigación al respecto, es que algunos individuos con dos ojos sanos que viven y se conducen con normalidad, padecen la llamada ceguera de tercera dimensión. Estas personas obtienen la orientación visoespacial de las claves secundarias ya descritas, por lo que dichos individuos no se benefician con un sistema estereoscópico ya que están adaptados de manera óptima a la reproducción 2D. Se sugiere entonces que un cirujano entrenado se puede adaptar con gran eficiencia a una visión bidimensional.<sup>35</sup>

### **El ángulo «azimut» o «acimut»<sup>VI</sup>**

En la cirugía endoscópica se pueden presentar otras discrepancias visoespaciales causadas por una interpretación o inferencia alterada de las relaciones angulares, dado que los puntos de entrada de los instrumentos y sus ejes no corresponden con el eje óptico de la endocámara. Mientras mayor sea el ángulo entre el vector de trabajo y el eje de la cámara, mayores serán las dificultades ergonómicas y menor la destreza.<sup>12</sup>

### **Efecto de palanca y pivote (fulcro)**

Uno de los mayores obstáculos en el desarrollo de las habilidades de la cirugía de invasión mínima es causado

por el efecto de «palanca y pivote» (fulcro), que ocasiona dificultades sustanciales en la coordinación psicomotora debido a la percepción de movimientos invertidos (fenómeno que ocurre también con el uso de tecnología 3D).

La física de este fenómeno se produce al tener un punto fijo en la flecha (porción larga) del instrumento que actúa como pivote o eje que genera un mecanismo de palanca, de fulcro o de leva que resulta en un movimiento paradójico de primer orden. Consecuentemente, cuando el cirujano mueve su mano hacia la derecha, el extremo de trabajo del instrumento dentro de la cavidad anatómica, viaja hacia la izquierda (y viceversa). Este fulcro natural afecta tanto los movimientos verticales como los horizontales proyectados en el monitor. La investigación y la experiencia han demostrado que la adaptación del cirujano al fenómeno de fulcro es perfectamente posible mediante un periodo prolongado de aprendizaje, atención y práctica psicomotora activa.<sup>12,30</sup>

### **Instrumentos diferentes**

Los instrumentos largos y rígidos utilizados en la cirugía laparoscópica aumentan el temblor o tremor natural de las manos del cirujano, pero además su ingeniería y mecánica también son distintas a las conocidas. En este campo también se requieren adaptaciones ergonómicas y adiestramiento especial. Lo mismo es cierto para otros artefactos endoquirúrgicos, como dispositivos para sutura, engrapadoras, cánulas de irrigación-aspiración y fuentes de energía.<sup>12</sup>

### **Restricción de movimientos**

Aunado a la rigidez de los instrumentos, los rangos de movimientos están significativamente restringidos dentro del campo quirúrgico laparoscópico ( $\pm 5^\circ$ ) y todavía más restringidos con las técnicas de un solo puerto en donde se sacrifica la triangulación de los instrumentos.<sup>12,30</sup>

### **Habilidad bimanual**

En la cirugía endoscópica muchas de las tareas requieren un trabajo cooperante y coordinado entre los instrumentos manejados con ambas manos por el cirujano. La habilidad ambidiestra, particularmente la de la mano no dominante, es diferente a la que se utiliza comúnmente en cirugía abierta y normalmente no está desarrollada en los cirujanos. Este es otro elemento de diferencia que requiere de un adiestramiento pertinente.<sup>16,28</sup>

### **Manejo de la cámara**

Durante la cirugía endoscópica, generalmente el cirujano no tiene el control directo sobre la posición y orientación de la cámara endoscópica, la que con frecuencia es ma-

<sup>VI</sup> Diccionario de la Lengua Española 2001. A este fenómeno se le ha llamado «ángulo azimut» o «acimut»; término de origen árabe, que es el ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera terrestre o del globo terráqueo. Técnicamente es el ángulo entre el vector proyectado y un vector de referencia sobre el plano de referencia y se mide en grados. El concepto es principalmente empleado en astronomía, con aplicaciones en la navegación, en la ingeniería, en el mapeo, en la minería y en la artillería.

nejada por un ayudante que debe seguir las maniobras del cirujano, manteniendo un grado de acercamiento y un campo de visión óptimos. Sin embargo, la inestabilidad de la cámara es natural y con asistentes inexpertos es excesiva, además de que en ocasiones ocurren rotaciones involuntarias del sistema óptico, lo que da lugar a desorientación e interpretación errónea de la posición y de las relaciones anatómicas.

Además los movimientos involuntarios que el asistente le imprime a la cámara son una fuente de incomodidad y de fatiga visual para el cirujano.<sup>12,30</sup>

### **Limitantes de la información neurosensorial**

#### *A. La información táctil (háptica)*

Háptica es la ciencia e ingeniería que trata sobre el sentido del tacto. En cirugía, la háptica o retroalimentación de la fuerza se define como la sensación de tacto que percibe el cirujano mientras practica cirugía, tanto de manera consciente como inconsciente.<sup>36</sup>

La percepción a través del sentido del tacto siempre ha sido de importancia central en la cirugía y sigue siéndolo en la cirugía endoscópica. Dicha percepción táctil o háptica se debilita significativamente al tener acceso a «tocar» los tejidos y órganos mediante la utilización de instrumentos muy largos. Sin embargo, un grado significativo de percepción háptica persiste y proporciona información valiosa para el cirujano en cuanto a la firmeza, elasticidad, deformabilidad y respuesta a la presión de las diferentes estructuras anatómicas exploradas y también de la tensión aplicada a las suturas, nudos y otras circunstancias.

En general, los simuladores de realidad física o de banco que se valen de instrumentos auténticos sobre objetos físicos reproducen fielmente la háptica de la cirugía real, en contraste con los de realidad virtual, que normalmente no lo hacen, a menos que sean dotados con un mecanismo háptico mediante sofisticadas tecnologías de costo muy elevado. Los sistemas de interfase robótica en general también adolecen del sentido háptico.<sup>12</sup> Aunque la transferencia de habilidades (de simuladores de realidad virtual sin háptica al quirófano) ha sido validada, la falta de háptica se considera como una desventaja. La opinión general en este controvertido tema es que la simulación realista con háptica incluida se expresa en mejor desempeño, curvas de aprendizaje más breves y una mejor transferencia de la destreza operatoria.<sup>36</sup>

La investigación de la física, de la ingeniería y de la psicometría al respecto incluye mediciones de grado de sensibilidad, de fuerza generada por la interacción del instrumento con las vísceras, de fuerzas originadas por el brazo de palanca, etc. También se toman en cuenta las fuerzas friccionales que dependen de la fricción de los instrumentos contra el trocar y otros factores físicos. Así por ejemplo, se

habla de que la pérdida de sensibilidad cuando se usa un instrumento laparoscópico en relación con la sensibilidad obtenida directamente por los dedos varía entre un factor de 8 a 20 o que el cirujano aplica fuerzas al extremo del instrumento de entre 0.5 a 12 Newton.<sup>36</sup>

#### *B. La regulación motora (brazo de palanca y «torque»)*

En este sentido debe hacerse notar que el sentido de «fuerza» o «tensión» que el cirujano imprime a los tejidos por medio de los instrumentos también es engañoso y tiene sus riesgos, ya que en función del fulcro los movimientos son mediados por un mecanismo de palanca que implica que a mayor brazo de palanca se requiera menos fuerza y más control («torque»).<sup>VII</sup> La regulación motora es regulada por mecanismos de retroalimentación visual y hápticos.<sup>36</sup>

#### *C. La información de posición. La propiocepción<sup>VIII</sup>*

Muy relacionado con la háptica, la propiocepción o capacidad de sentir la posición relativa de partes corporales contiguas o para saber en qué posición tenemos situadas nuestras articulaciones sin necesidad de utilizar la vista y la detección de la dirección, velocidad y rango de los movimientos, también se ve afectada importantemente cuando el extremo de trabajo del instrumento operatorio está muy lejos de la mano del operador y aún más, teniendo en cuenta el efecto paradójico de fulcro. El entrenamiento adecuado, por tiempo necesario, permitirá al cirujano endoscopista o al operador intervencionista, desarrollar un sentido háptico compensatorio, que le permita tener conciencia de la posición de los instrumentos de trabajo y de sus relaciones (propiocepción extendida).<sup>12</sup>

<sup>VII</sup> En mecánica newtoniana se denomina momento de una fuerza (respecto a un punto dado) a una magnitud (pseudovectorial), obtenida como producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza respecto al punto al cual se toma el momento por la fuerza, en ese orden. También se le denomina momento dinámico o sencillamente momento. Ocasionalmente recibe el nombre de «torque» a partir del término inglés (*torque*) derivado a su vez del latín *torquere* (retorcer). Este término intenta introducirse en la terminología española bajo las formas de torque o torca, aunque con escasa fortuna, ya que existe la denominación par, que es la correcta en español. [http://es.wikipedia.org/wiki/Momento\\_de\\_fuerza](http://es.wikipedia.org/wiki/Momento_de_fuerza).

<sup>VIII</sup> La propiocepción es el sentido que informa al organismo de la posición de los músculos, es la capacidad de sentir la posición relativa de partes corporales contiguas; también se conoce como la conciencia de posición y movimiento articular, velocidad y detección de la fuerza de movimiento. De manera muy simplista, es la capacidad para saber en qué posición tenemos situadas nuestras articulaciones sin necesidad de utilizar la vista y tiene tres componentes: a) Estatotaxis: provisión de conciencia de posición articular estática, b) Cenestesia: conciencia de movimiento y aceleración y c) Actividades efectoras: respuesta refleja y regulación del tono muscular.

### **Coordinación ojo-mano**

La coordinación ojo-mano es un servomecanismo de dos vías mediante el cual cotidianamente realizamos miles de tareas, y que es muy importante en cirugía tanto abierta como mínimamente invasiva. Es el control del movimiento ocular que ocurre en coordinación con el movimiento de la mano. Existe un bucle de procesamiento y retroalimentación de la información visual como guía del movimiento manual y, simultáneamente, los movimientos oculares son guiados por el sentido de propiocepción de la mano. Por las razones analizadas previamente, este mecanismo se ve alterado en el contexto de la cirugía endoscópica y requiere de aprendizaje y adiestramiento.<sup>12, 30</sup>

### **Mapeo cognitivo: la anatomía diferente**

Como se menciona previamente (inciso 1.02), la cirugía mínima invasiva presenta imágenes de la anatomía considerablemente diferentes de las conocidas en la cirugía abierta. Lo anterior es debido, en parte, a la pérdida de la visión tridimensional discutida previamente, pero también y de manera importante a las nuevas perspectivas y a la magnificación de los objetos más cercanos al laparoscopio. En ocasiones, tales diferencias representan ventajas (mejor perspectiva, más luz o más claridad de ciertos objetos); aun así, las imágenes pueden ser incongruentes con los modelos mentales de la anatomía que el cirujano ha incorporado a través del aprendizaje clásico de la anatomía y durante la experiencia en cirugía abierta, por lo que las posibilidades de confusión y de errores de apreciación son mayores.<sup>37-40</sup>

### **Nuevas técnicas: «notes», puerto único y robótica**

Aunadas a las diferencias descritas de la cirugía endoscópica en relación con la cirugía abierta, la incorporación de variantes en el abordaje, en la técnica o en la instrumentación al escenario de la nueva cirugía, impone dificultades añadidas que por supuesto, implican también un adiestramiento adicional.

Las variantes referidas comprenden desde el uso de mini instrumentos y lentes de diámetros reducidos hasta la cirugía por orificios naturales (natural orifice transluminal surgery) pasando por las técnicas de incisión única, puerto único, etc.<sup>41</sup>

### **La cirugía robótica**

La cirugía endoscópica asistida por robots (robot assisted procedures) se ha difundido en diversas especialidades quirúrgicas. Debido a su elevado costo, este campo ha prosperado más en países con economía desarrollada. En los Estados Unidos, arriba del 48% de las prostatectomías

radicales, y una cifra elevada de procedimientos ginecológicos, se realizan con robots.<sup>42</sup> En la cirugía general, los robots son menos utilizados; muchos entusiastas de esta materia auguran un crecimiento de procedimientos robóticos, particularmente para facilitar las técnicas de puerto o incisión únicas o en cirugía por orificios naturales (NOTES).

Tomando en cuenta el número considerable de procedimientos robóticos que se practican, los métodos y criterios de entrenamiento varían y no existen estándares al respecto, a diferencia de los programas validados y aceptados que existen en la cirugía laparoscópica estándar, como el FLS.<sup>43</sup> Las instancias educativas para cirugía robótica incluyen programas computacionales como el tutorial didáctico en línea para uso del sistema Da Vinci<sup>IX</sup> o simuladores de realidad virtual que recrean las condiciones de la cirugía robótica, presentando imágenes virtuales. El dV TRAINER<sup>X</sup> es un ejemplo conocido de simulador para entrenamiento en cirugía robótica que consiste en una consola compacta que reproduce la apariencia, los controles y otras características del sistema robótico Da Vinci, diseñado para el entrenamiento inicial en el manejo del Da Vinci a un costo mucho menor.

La tecnología robótica, telerobótica y de comunicaciones, mencionada previamente (Inciso: 1.02) abre la puerta de otro rubro educacional interesante: el «telementoring» que podríamos traducir al español como «teletutelaje». En este campo hay experiencias reportadas desde principios de la década de los noventa.<sup>44</sup>

### **Los simuladores laparoscópicos**

Se puede decir que la aceptación del uso de la simulación en medicina y en cirugía, incluyendo experiencias multimedia generadas por computadora, está en sus inicios empezando a adquirir importancia en contraste con otras disciplinas, en las cuales las tecnologías de la simulación están considerablemente más desarrolladas. Algunos ejemplos incluyen simuladores de vuelo para pilotos y astronautas, ejercicios de entrenamiento y juegos de guerra para el personal militar, juegos gerenciales y de administración en los negocios y operaciones técnicas para el personal de las plantas nucleares.<sup>11</sup>

Uno de los aspectos que ha frenado el uso de simuladores de alta tecnología es sin duda su precio, que como en el caso de los sistemas de tercera dimensión es inicialmente elevado debido a los costos de investigación y desarrollo, y tenderá a reducirse conforme la tecnología sea más eficiente y el volumen de ventas permita costos de producción más bajos.

<sup>IX</sup> Intuitive Surgical Inc. [www.davincisurgerycommunity.com](http://www.davincisurgerycommunity.com)

<sup>X</sup> Mimic Technologies Inc. ([www.mimic.ws](http://www.mimic.ws))

## Tipos y fidelidad de los simuladores

Se han publicado diferentes clasificaciones y taxonomías de simuladores quirúrgicos; cada una de ellas atiende distintos enfoques como el tipo de construcción del simulador, su apariencia, la tecnología de la que está dotado o el tipo de aplicación o entrenamiento que es capaz de proporcionar, e incluso sus desventajas y costos.<sup>45</sup>

De acuerdo con Sutton y Park,<sup>8</sup> una manera muy simple de categorizarlos es el grado de aproximación que tiene un determinado sistema con las condiciones reales que se desean imitar, es decir, su grado de fidelidad. Una simulación considerada como de «baja fidelidad», puede comprender solamente los elementos claves de una destreza manual como colocar semillas o cuentas en un recipiente, utilizando instrumentos laparoscópicos reales dentro de la caja entrenadora; una tarea que replica pobremente una maniobra quirúrgica real. Sin embargo, tal ejercicio, de movimiento y colocación de objetos en un blanco fijo, repetido muchas veces, es de gran utilidad en la adquisición de destrezas visoespaciales y de control psicomotor de precisión.

### Baja fidelidad versus baja calidad

Es muy importante puntualizar que el término «baja fidelidad» de ninguna manera debe interpretarse como de baja calidad, ya que los modelos de baja fidelidad poseen ventajas importantes como su reducido costo y accesibilidad, además de que conservan características de «alta fidelidad», como es el adiestramiento con instrumentos auténticos y una sensación háptica real. A mayor abundamiento, ciertas prácticas en condiciones de imitación rudimentarias pueden tener un valor didáctico de alta calidad.

Ciertamente la simulación de «alta fidelidad» se aproxima más a las condiciones de un procedimiento quirúrgico real en el paciente. Las operaciones realizadas en animales vivos anestesiados y algunos procedimientos en cadáveres ejemplifican simulaciones de «alta fidelidad». En rigor, la utilidad y la importancia del grado de fidelidad del dispositivo adquieren relevancia de acuerdo con el nivel de pericia del practicante y del tipo de habilidad que se desea adquirir.<sup>46</sup>

Las condiciones derealismo que debe reunir un simulador de realidad virtual para ser considerado de alta fidelidad son: calidad de imagen (alta resolución), propiedades del objeto (deformabilidad y elasticidad), interactividad (los movimientos de los instrumentos deben interactuar con los órganos simulados), háptica (realismo sensitivo y de retroalimentación de fuerza) y reactividad (los órganos deben reaccionar a la manipulación y al corte con sangrado o salida de líquidos).<sup>47</sup>

## Las simulaciones basadas en internet y en video

Las simulaciones basadas en internet y en video son ejemplos de sistemas de «baja fidelidad». Éstos consisten en videos de demostración de procedimientos o técnicas, a menudo interactivos y conducidos por un experto, tanto grabados como transmitidos a distancia en tiempo real. Como ventajas de estos sistemas se puede mencionar que son altamente portátiles, de bajo costo y pueden servir para instruir simultáneamente a muchos individuos o a grupos numerosos. En contraste, los sistemas de «alta fidelidad» permiten el entrenamiento a un solo practicante; a la vez tienen un costo elevado, carecen de portabilidad y por ende de accesibilidad.

Las simulaciones basadas en internet y en video constituyen opciones complementarias de gran valía, que deben estar incluidas en todo programa de entrenamiento.

### «Web Surg»<sup>XI</sup>

Un admirable y valioso sistema basado en videos y en internet es el «Web Surg». Se trata de una universidad quirúrgica virtual, accesible desde cualquier parte del mundo.

El concepto del «WebSurg» fue lanzado por el profesor Jacques Marescaux y su equipo del European Institute of Telesurgery (EITS) (Instituto Europeo de Tele Cirugía) en Estrasburgo, Francia.<sup>48</sup>

El objetivo de WebSurg y del EITS es «poner a disposición de la comunidad quirúrgica, de asociaciones científicas, centros de enseñanza médica e industrias de todo el mundo, el primer sistema de entrenamiento quirúrgico en línea; la información de los avances más recientes en cirugía y la posibilidad de tener comunicación por texto con cirujanos y expertos de cualquier país». WebSurg y sus fundadores científicos como el profesor Jaques Marescaux, Didier Mutter, Joël-Leroy y el Dr. Michel Vix, todos expertos reconocidos internacionalmente en los campos de cirugía y telecirugía, aspiran a «acelerar la difusión del conocimiento y de las innovaciones tecnológicas a todo el mundo y ofrecer a los cirujanos y a sus equipos, acceso directo a los más recientes desarrollos para mejorar el bienestar de los pacientes».

WebSurg es accesible en inglés, francés, japonés y chino tradicional y es gratuito para sus suscriptores, aunque como servicio optativo, ofrecen material de «alta definición» (HD), mediante una cuota razonable.

Algunas organizaciones quirúrgicas en diferentes países, también han desarrollado programas de enseñanza y entrenamiento «on-line» y entrenamiento basado en video.

<sup>XI</sup> [http://www.websurg.com/about\\_us/](http://www.websurg.com/about_us/)

## **Los modelos mecánicos**

Los simuladores mecánicos también llamados «endotrainers» o entrenadores «de caja», «de banco», «de maniquí», de «realidad física» o de «primera generación» son los más conocidos y los más utilizados. Los hay de construcción casera y de fabricación industrial; existen un sinnúmero de modelos en el mercado con diferentes grados de sofisticación.

Los modelos de caja de entrenamiento típicamente consisten en una cámara, una fuente de luz, una pantalla de video e instrumentos laparoscópicos que se introducen a través de un plano o interfase rígida o blanda que representa el cuerpo del paciente. Hay variantes sumamente simples y económicas (con espejos) que carecen de cámara, fuente de luz y sistema de video. Muchos simuladores mecánicos aceptan objetos sintéticos que hacen las veces de los tejidos u órganos en los que se practican los ejercicios de destreza; otros pueden incorporar vísceras frescas de animales ex vivo que aumentan la fidelidad del modelo.

El atributo didáctico más importante de los modelos «de caja» es que utilizan instrumentos laparoscópicos verdaderos y preservan las características sensoriales y motoras (háptica, fulcro y torque) del contexto real.

La utilidad de algunos modelos de banco (endotrainers o videotrainers) como instrumentos de entrenamiento y de evaluación de las habilidades para practicar cirugía laparoscópica ha sido bien documentada.<sup>49</sup> Cada modelo de este grupo se vale de técnicas diferentes para entrenamiento y evaluación; sin embargo, todas se ocupan del adiestramiento en las habilidades genéricas: visoespacial y de profundidad, fulcro, coordinación ojo-mano, precisión manual de las maniobras y adaptación a un campo bidimensional magnificado.

La mayoría de los modelos mecánicos incluyen ejercicios específicos bimanuales que imitan los movimientos básicos de la cirugía como transferencia de objetos, manipulación de un cordel y otras acciones con énfasis en la coordinación entre los instrumentos sostenidos tanto por la mano dominante, como por la no dominante. Algunas tareas son más operacionales que otras, como la aplicación de clips, corte de patrones, colocación de mallas, sutura y nudos.<sup>25</sup>

Al respecto, los estudios de Chung y Sackier confirmaron que la ejecución de suturas y nudos son tareas de alto grado de dificultad en la cirugía endoscópica, particularmente el posicionamiento correcto de la aguja. Dichos autores consideran que todo cirujano debe desarrollar la habilidad para ejecutar dichas maniobras con pericia.<sup>50</sup>

Además, los simuladores de banco en general son de precio accesible, portátiles y útiles para una práctica individual, repetitiva y deliberada y en solitario.

En 1992, el Dr. James Roser de la Universidad de Yale introdujo un programa de entrenamiento y evaluación de destrezas laparoscópicas en entrenador mecánico, llamado

«Top Gun Laparoscopic Skills and Suturing Program». <sup>51,52</sup> El curso originalmente consistía en tres ejercicios de destreza, los cuales han sido ampliados por otros autores.

Dos módulos educacionales ejemplares que han sido desarrollados y validados en este grupo son el programa «MISTELS» (McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills) y el programa de la Universidad de Kentucky (UK).

Ambos programas proporcionan simulaciones de bajo costo y fidelidad baja o intermedia, y permiten a los educandos el dominio y la transferencia de las habilidades básicas laparoscópicas. El primero, (MISTELS) incluye 6 destrezas: 1) transferencia de objetos, 2) corte de patrones, 3) colocación de endoloop, 4) colocación de un punto de sutura 5) nudo extracorpóreo y 6) nudo intracorpóreo. Estas seis habilidades han sido incorporadas como los componentes psicomotores básicos del programa de entrenamiento conocido como FLS (Fundamental Laparoscopic Skills) (ver incisos 1.17.4 y 1.17.5). El segundo (UK) consiste en cinco módulos de tarea parcial que representan las porciones clave de cinco procedimientos comunes en cirugía general: 1) colecistectomía laparoscópica con colangiografía transoperatoria, 2) apendicectomía laparoscópica, 3) herniplastía inguinal por laparoscopia, 4) movilización laparoscópica del intestino con cierre de enterotomía y 5) esplenectomía laparoscópica.

## **Los modelos de realidad virtual (VR o RV)**

El primero en desarrollar la idea de emplear la realidad virtual en el entrenamiento quirúrgico fue el Dr. Richard Satava en 1993.<sup>53</sup> A partir de entonces se han desarrollado un número importante de sistemas de realidad virtual también llamados de «segunda generación».

A semejanza de algunos videojuegos, estos sistemas constan de una computadora, una consola con «instrumentos» o «palancas de manipulación» y uno o varios programas computacionales o «software» intercambiables que generan imágenes y escenarios dinámicos interactivos, de tareas o procedimientos quirúrgicos con una gran fidelidad visual. Sin embargo, en general tienen la desventaja didáctica de carecer del sentido háptico y de control de fuerza, aunque estas características también se pueden incorporar al simulador mediante tecnologías sofisticadas que incrementan considerablemente su ya elevado costo.

Las ventajas sobresalientes de los sistemas de realidad virtual son que el montaje entre módulos es fácil y expedito, son limpios, tienen gran reusabilidad y cuentan con sistemas de métrica, de evaluación y retroalimentación integrados, que proporcionan información y evaluación inmediata de la calidad de los movimientos, maniobras y ejecución de las tareas realizadas por el practicante sin la presencia del instructor.

## Ejemplos de simuladores de realidad virtual

Se han desarrollado simuladores propios para diferentes especialidades como anestesiología, otorrinolaringología, urología, endoscopía flexible gastrointestinal, radiología y cardiología intervencionista y otras.

En cirugía general existen varios simuladores de realidad virtual; como ejemplos representativos de este grupo, muy comúnmente utilizados están el MIST VR<sup>xii</sup> (Minimally Invasive Surgery Trainer, Virtual Reality), el LAP SIM<sup>xiii</sup> y el SIMENDO<sup>xiv</sup>. Estos sistemas ostentan diferencias técnicas que se describen someramente a continuación con objeto de dar una idea más concreta del tema de la realidad virtual.

### MIST VR

El simulador MIST VR no tiene la apariencia exterior de un simulador quirúrgico ni tampoco las imágenes y escenarios proyectados lucen como tejidos reales. La capacidad de procesamiento de la computadora está dirigida a emular las tareas, la interacción de tarea e instrumento y la coordinación visual y bimanual necesarias para practicar un procedimiento como la colecistectomía. Las tareas en este simulador progresan en tiempo real y aumentan en complejidad conforme el entrenamiento avanza. Además, conforme el practicante va avanzando en la ejecución de la tarea, se le proporciona retroalimentación en tiempo real del desempeño y progreso de las acciones. También el simulador ofrece calificaciones finales de cada sesión («summative scores»).

El MIST VR es el simulador mejor validado en la historia mediante estudios aleatorios doble ciegos que han demostrado que los grupos sujetos a entrenamiento en el simulador a un nivel determinado, comparados con grupos equivalentes sin tal entrenamiento, claramente han superado los parámetros de desempeño del procedimiento realizado en pacientes reales.<sup>15,54,55</sup>

### LAP SIM

El simulador LAP SIM incluye representaciones virtuales más realistas de los tejidos y de su interacción con los instrumentos. La validación aparente («face validity») en este sistema es superior. En algunas tareas, los tejidos «sangran» y las vísceras y tejidos se mueven, se comprimen y reaccionan a la acción de los instrumentos con más fidelidad. El LAP SIM también tiene integrado el sistema de métrica y retroalimentación. Cuenta con varios módulos, desde los de tareas básicas como transferencia de objetos,

colocación de suturas y confección de nudos, hasta de algunos procedimientos completos como colecistectomía. Cada módulo tiene un costo extra así como la tecnología háptica optativa.

El LAP SIM también cuenta con diversos estudios de validación serios que muestran que las habilidades básicas mediante un entrenamiento sistemático en el simulador pueden ser transferidas al quirófano.<sup>56,57</sup>

### SIMENDO

El simulador laparoscópico SIMENDO es un dispositivo de fabricación holandesa menos complejo y de menor precio que los anteriores (de 5 a 8 mil euros incluyendo el «hardware» y el «software»). La compañía fabricante (Delta-Tech-Company) tiene experiencia en simuladores aeroespaciales además de los laparoscópicos. El SIMENDO se conecta a una computadora personal que se carga con el software del producto. Está enfocado para el entrenamiento de la coordinación ojo-mano necesaria para practicar cirugía endoscópica, mediante el montaje de tareas abstractas y simultáneamente efectúa mediciones de la ejecución de los estudiantes utilizando varios parámetros de evaluación objetiva, que han sido sujetos a estudios de validación del constructo (construct validity).<sup>58</sup> El sistema SIMENDO corre con varias versiones de Windows.<sup>58</sup>

## Los simuladores de paciente humano/alta fidelidad

Existen sistemas considerados de «alta fidelidad» consistentes en un maniquí conectado a una computadora. Esta rama de la simulación conocida como simulación de ambiente completo («full environment simulation»), fue desarrollada y validada por los anestesiólogos desde los años sesenta. Originalmente se diseñó para enseñar el manejo de la vía aérea y maniobras de resucitación. Ha evolucionado hasta los actuales escenarios clínicos complejos utilizando sistemas computarizados interactivos de granrealismo.

Uno de los pioneros en este tipo de simuladores es el Dr. David Gaba, anestesiólogo de la Universidad de Stanford, quien en 1988 contribuyó al desarrollo de esta rama de la simulación con ambiente realista, con el objetivo de mejorar el entrenamiento profesional en aras de la seguridad del paciente.<sup>59</sup>

Los maniquíes computarizados descritos tienen un elevado precio, requieren de un espacio dedicado y soporte técnico con actualizaciones frecuentes del software; su aplicación es muy clara en entrenamiento de equipo y en simulacros que implican maniobras y tareas invasivas e intervencionistas. Sin embargo, todavía no son utilizados en el entrenamiento específico de habilidades quirúrgicas individuales.

<sup>xii</sup> MIST VR system. Distribuido por Mentice, Gothenburg, Suecia.

<sup>xiii</sup> LAP SIM system de Surgical Science, Gothenburg, Suecia.

<sup>xiv</sup> SIMENDO DeltaTech, Delft, Holanda.

Los fabricantes de este tipo de equipos son principalmente Medical Education Technologies Inc. (METI) de Sarasota EUA, Laerdal Medical AS de Noruega y Medical Simulation Corporation de Denver EUA. Este último, con un producto llamado SimSuite.

### **Simuladores de realidad virtual de alta fidelidad y física total (*High Fidelity Full Physics Virtual Reality Simulators*)**

Aunque a la fecha este tipo de simuladores no han sido desarrollados para la cirugía endoscópica, son extraordinariamente interesantes porque representan el ideal de un simulador en procedimientos intervencionistas. Son sistemas de realidad virtual que simulan en tiempo real las imágenes de la anatomía y de la patología de los pacientes, tal como las ve un radiólogo o un cardiólogo intervencionista. Las imágenes han sido reconstruidas a partir de imágenes dinámicas digitales de pacientes reales.

Algunos ejemplos de simuladores de realidad virtual, alta fidelidad y física total son los simuladores de sinuscopía (ENT simulator y el ES3), además del Simulador de Entrenamiento en Intervenciones Vasculares («Vascular Intervention System Training», VIST).

Este último (VIST) es probablemente el simulador virtual más completo y exitoso construido hasta ahora (2012). Simula una amplia gama de procedimientos endovasculares, desde colocación de prótesis coronarias («coronary artery stenting»), angiografías coronarias, endoprótesis carotídeas y renales hasta otros procedimientos vasculares periféricos endovasculares. El desempeño del practicante puede ser evaluado segundo a segundo y proporciona una retroalimentación tanto intraoperatoria inmediata (formativa) como al final del procedimiento (sumativa). Un ejemplo de los alcances de este sistema es el de un paciente programado para un procedimiento y cuyos datos angiográficos digitales fueron descargados y formateados en el simulador, de tal manera que el operador pudo hacer ensayos del procedimiento antes de su ejecución real en el mismo paciente («mission rehearsal»).<sup>60</sup>

### **Simuladores biológicos**

Históricamente y por siglos, las diferentes disciplinas médicas particularmente la cirugía, se han valido de los modelos biológicos para investigación y enseñanza. Actualmente siguen siendo recursos valiosos aunque en los tiempos presentes existen limitantes económicas, morales y muchas veces legales para su utilización.

Existen cuatro tipos de simuladores biológicos vigentes en el mundo con fines de entrenamiento: 1) cadáveres frescos o tejido cadavérico fresco congelado, 2) animales vivos anestesiados, 3) vísceras animales (ex vivo) y 4) modelos de tejido humano vivo dañado.

### **Cadáveres frescos o tejido cadavérico fresco congelado**

Los cadáveres siempre han sido elementos insustituibles para el estudio de la anatomía humana normal y de la anatomía patológica. En el campo que nos interesa, la anatomía quirúrgica y la práctica de procedimientos en cadáveres han sido y son un recurso didáctico preferido por los cirujanos. En virtud de la alta fidelidad morfológica, la cirugía de mínima invasión y los procedimientos invasivos e intervencionistas son también beneficiarios de este clásico instrumento.

Desafortunadamente el acceso a la práctica en cadáveres se ve cada día más restringida por razones de índole ético, logístico, legal, económico y sanitario.

En la actualidad la tecnología y los protocolos en la utilización de cadáveres, tejidos o porciones cadavéricas frescos congelados para la enseñanza, están adquiriendo importancia global.<sup>46</sup>

### **Animales vivos anestesiados como modelos de alta fidelidad**

En prácticamente todo el mundo hasta hace pocos años, la utilización de animales vivos anestesiados constituía el modelo preferente de entrenamiento quirúrgico en la cirugía laparoscópica. Sin embargo, la legislación en muchos países, las justificadas presiones de los activistas en la protección de los animales y otros importantes factores han restringido y limitado este valioso recurso didáctico.

La cirugía de entrenamiento en modelos animales vivos anestesiados, representa una situación de simulación de muy alta fidelidad. La ejecución de un procedimiento quirúrgico en un animal vivo en un quirófano real, utilizando instrumentos reales, constituye una lección didáctica, excepcional, en la cual se obtiene la experiencia fiel de cómo los instrumentos se conducen e interactúan con vísceras y tejidos reales. Además, dicha experiencia incluye ventajas invaluables tales como el establecimiento del neumoperitoneo, la inserción de trócares, las maniobras de disección y de hemostasia en condiciones reales, etc.

Sin embargo, existen limitantes múltiples para el uso de animales vivos con fines de entrenamiento, siendo las de tipo ético y legal las más energéticas. Otras son de tipo económico, dado que disponer de un laboratorio específico equipado para este fin, con facilidades sanitarias y compasivas para los animales representan una inversión y un gasto corriente muy elevado. También existen restricciones de tipo sanitario. Otra desventaja de este modelo está relacionada con la retroalimentación y la evaluación, que en estas condiciones exigen el apego a un protocolo y a la presencia de un instructor evaluador entrenado.

No obstante, cuando se dispone del recurso en las circunstancias humanitarias y sanitarias lícitas y apegado

a las condiciones pedagógicas válidas, el entrenamiento en animales vivos anestesiados es una práctica que debe incluirse en el programa de entrenamiento.<sup>61,62</sup>

### Vísceras animales (*ex vivo*)

La inclusión de tejidos, órganos o partes de animales en los simuladores de banco son un recurso también útil en la experiencia didáctica de la ejecución de tareas endoquirúrgicas con tejidos y vísceras reales y un elemento de mediana o alta fidelidad en la simulación.<sup>12</sup>

### **Modelos de tejido humano vivo dañado de alta fidelidad<sup>xv</sup>**

Incluimos la descripción de este tipo de modelo de entrenamiento como dato interesante y curioso, a partir del relato que Gallagher hace al respecto. El modelo que aparentemente se utiliza en algunos países consiste en el ensayo de procedimientos endovasculares, directamente en las arterias de miembros de pacientes que estaban programados para amputación, inmediatamente antes de dicho procedimiento.<sup>46</sup>

## REFERENCIAS

1. Aggarwal R, Darzi A. Technical-Skills Training in the 21st Century. *N Eng J Med* 2006; 355: 2695-2696.
2. Reznick RK, MacRae H. Teaching Surgical Skills-Changes in the Wind. *N Eng J Med* 2006; 355: 2664-2669.
3. Aggarwal R, Mytton OT, Derbrew M, Hananel D, Heydenburg M, Issenberg B et al. Training and simulation for patient safety. *Qual Saf Health Care* 2010; 19: 34-43.
4. Brailovsky CA. Educación médica, evaluación de las competencias. Aportes para un cambio curricular. Buenos Aires; OPS/OMS eds: 2001.
5. Roberts KE, Bell RL, Duffy AJ. Evolution of surgical skills training. *WJ Gastroenterol* 2006; 12: 3219-3224.
6. Satava RM. Historical review of surgical simulation. A personal perspective. *World J Surg* 2008; 32: 141-148.
7. Satava RM, Hunter AM. The surgical ensemble: choreography as a simulation and training tool. *Surg. Endosc* 2011; 25: 3080-3086.
8. Sutton E, Park A. Simulation's Role in Surgical Training. Park A. Minimally invasive surgery training: theories, methods, outcomes [Internet]. Washington: Department of Health & Human Services (US)., MIS online text. 2012, 7, págs. 1-11. [http://masti.umm.edu/NIH-Book/simulation\\_role.html](http://masti.umm.edu/NIH-Book/simulation_role.html).
9. Stahel PF. Learning from aviation safety: a call for formal «readbacks» in Surgery. *Patient Safety in Surgery* 2008; 2: 21.
10. Stefanidis D. Optimal acquisition and assessment of proficiency on simulators in surgery. *Surg Clin N Amer* 2010; 90: 475-489.
11. Issenberg SB et al. Simulation technology for health care professional skills training and assessment. *JAMA* 2012; 282: 861-866.
12. Gallagher AG, O'Sullivan GC. *Fundamentals of surgical simulation. Principles and practice*. New York; Springer London Dordrecht Heidelberg, 2012.
13. Gallagher AG, Ritter EM, Champion H, Higgins G, Fried MP, Moses G et al. Virtual reality simulation for the operating room. Proficiency-based training as a paradigm shift in surgical skills training. *Ann Surg* 2005; 241: 364-372.
14. Sudgen C, Aggarwal R. Assessment and feedback in the skills laboratory and operating room. *Surg Clin N. Amer* 2010; 90: 519-533.
15. Seymour NE, Anthony G, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK et al. Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance. *Ann Surg* 2002; 236: 458-464.
16. Fried GM. Transfer of training from the skill laboratory to the operating room. [Klein RV, editors. Park A. *Minimally Invasive Training: Methods and Outcomes*.] MIS online. 2012; 8:1-6.
17. Torkington J, Smith SGT, Rees BI, Darzi A. Skill transfer from virtual reality to a real laparoscopic task. *Surg Endosc* 2001; 15: 1076-1079.
18. Gallagher AG, O'Sullivan GC. *Human factors in acquiring medical skills; learning and skill acquisition in surgery*. New York: Improving medical outcome-Springer-Verlag London Limited, 2012.
19. Hamdorf JM, Hall JC. Acquiring surgical skills. *BJS* 2000; 87: 28-37.
20. Fried GM, Feldman LS. Objective Assessment of technical performance. *World J Surg* 2008; 32:156-160.
21. Fried GM, Feldman LS, Vassiliou MC, Fraser SA, Stanbride D, Ghitulescu G. Proving the value of simulation in laparoscopic surgery. *Ann Surg* 2004; 240: 518-528.
22. Dubrowski A, MacRae H. Measurement of competence. V, editors. *Minimally invasive surgery training: theories, method* [Internet]. Washington: Department of Health & Human Services (US), Park A. *Minimally Invasive Surgery Training: Methods and Outcomes*. MIS online text. 2012; 2, págs. 1-18.
23. Gallagher AG, Satava RM. Virtual reality as a metric for the assessment of laparoscopic psychomotor skills. *Surg Endosc* 2002; 16: 1746-1752.
24. Strup S, Garret Myers JE. Minimally Invasive Urology Training. [aut. libro] Klein RV, editors Park A. *Minimally invasive surgery training: theories, methods, outcomes* [Internet]. Washington: Department of Health & Human Services (US)., MIS online. 2012; 11, págs. 1-6.
25. Emken JL, McDougall EM, Clayman RV. Training and assessment of laparoscopic skills. *JLS* 2004; 8: 195-199.
26. Buchs NC et al. Three-dimensional laparoscopy: a step toward advanced surgical navigation. *Surg Endosc*, 2012; Published online 18 jul. 2012

<sup>xv</sup> Fundamentals of Surgical Simulation capítulo 2, pág. 63.<sup>46</sup>

27. Kunert W, Storz P, Kirschniak A. For 3D laparoscopy: a step toward advanced surgical navigation: how to get maximum benefit from 3D vision. *Surg Endosc*; 2012.
28. Shah J, Buckley D, Frisby J, Darzi, A. Depth cue reliance in surgeons and medical students. *Surg Endosc* 2003; 17: 1472-1474.
29. Arora S, Aggarwal R, Sedvalis N, Moran A, Sirimanna P, Kneebone R et al. Development and validation of mental practice as a training strategy for laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2010; 24: 179-187.
30. Breedveld, P. Observation, Manipulation and Eye Hand Coordination Problems in Minimally Invasive Surgery. *Engineering & Marine Technology*. Delft, Netherlands 1998: 219-231.
31. Mueller MD, Camartin C, Dreher W, Hanggi W. Three-dimensional laparoscopy. Gadget or progress? A randomized trial on the efficacy of three dimensional laparoscopy. *Surg Endosc* 1999; 13: 469-472.
32. Taffinder N, Smith SG, Huber J, Russel RCG, Darzi A. The effects of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons. *Surg Endosc* 1999; 13: 1087-1092.
33. Wagner OJ, Hagen M, Kurmann A, Horgan S, Candinas D, Vorburger SA. Three-dimensional vision enhances task performance independently of the surgical method. *Surg Endosc* 2012; 26: 2961-2968.
34. Kong SH, Oh BM, Yoon H, Ahn HS, Lee HJ, Chung SG et al. Comparison of two- and three-dimensional camera systems in laparoscopic performance: a novel 3D system with one camera. *Surg Endosc* 2010; 24: 1132-1143.
35. Storz P, Buess GF, W, Kunert, Kirschniak, A. 3D HD versus 2D HD: surgical task efficiency in standardized phantom tasks. *Surg Endosc* 2012; 26: 1454-1460.
36. van der Meijden, OAJ. The value of haptic feedback in conventional and robot-assisted minimal invasive surgery and virtual reality training: a current review. *Surg Endosc* 2009; 23: 1180-1190.
37. Li LJ, Zheng XM, Jiang DZ, Zhang W, Shen HL, Shan C et al. Progress in laparoscopic anatomy research: a review of the chinese literature. *World J Surg* 2010; 16: 2341-2347.
38. Way LW, Stewart L, Grantert W, Liu K, Lee CR, Whang K et al. Causes and prevention of laparoscopic bile injuries: analysis of 252 cases from a human factors and cognitive psychology perspective. *Ann Surg* 2003; 237; 460-469.
39. Singh, K, Ohri, A. Anatomic landmarks: their usefulness in safe laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 2006; 20: 1754-1758.
40. Roth JS, Dexter D. Training in laparoscopic colon surgery. Minimally invasive surgery training, methods and outcomes. Washington: department of health & human services 2012; 9: 1-7.
41. Dávila F, Tsin DA. Cirugía por orificios naturales (NOTES y manos) ¿La tercera revolución quirúrgica? *Rev Mex Cir Endosc* 2006; 7: 6-13.
42. Anderson JA et al. The first national examination of outcomes and trends in robotic surgery in the United States. *J Am Coll Surg* 2012; 215: 107-116.
43. Arain NA, Dulan G, Hogg DC, Rege RV, Powers CE, Tesfay ST et al. Comprehensive proficiency-based inanimate training for robotic surgery: reliability, feasibility and educational benefit. *Surg Endosc*; 27: 2740-2745.
44. Ballantyne GH. Robotic surgery, telerobotic surgery, telepresence and telementoring. *Surg Endosc* 2002; 16: 1389-1402.
45. Satava RM. Surgical education and surgical simulation. *Worl J Surg* 2001; 25: 1484-1489.
46. Gallagher AG, O'Sullivan GC. Fundamentals of surgical simulation. Improving medical outcome-zero tolerance. New York: Springer London Dordrecht Heidelberg; 2012.
47. Choy I, Okrainec A. Simulation in surgery: perfecting the practice. *Surg Clin N Am* 2010; 90: 457-473.
48. Marescaux J, Mutter D, Leroy J, Smith M, Vix M, Simone M et al. Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. *Ann Surg* 2002; 235: 487-492.
49. Al-Kadi AS, Donnon T, Paolucci EO, Mitchel P, Debru WE, Church N. The effect of simulation in improving students performance in laparoscopic surgery: a meta-analysis. *Surg Endosc* 2012; 3215-3224.
50. Chung JY, Sackier JM. A method of objectively evaluating improvements in laparoscopic skills. *Surg Endosc* 1998;12: 1111-1116.
51. Roser JC, Davis BR, Qureshi HN. Intracorporeal suturing: the top gun experience. *Mastery of Surgery*. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins, 2007, Vol. 2, pág. 2592. Citado por: Choy, I, Okrainec, A. Simulation in Surgery: Perfecting the Practice. *Surg Clin N. Amer.* Vol 20, No. 3.
52. Rosser JC, Young SM. The top gun laparoscopic skill and suturing program. *laparoscopy today*. 2004. Disponible en: [http://www.laparoscopytoday.com/2004/01/the\\_top\\_gun\\_lap.html](http://www.laparoscopytoday.com/2004/01/the_top_gun_lap.html)
53. Satava RM. Virtual reality surgical simulator. The first steps. *Surg Endosc* 1993; 7: 203-205.
54. Bashankaev B, Baido S, Wexner SD. Review of the available methods of simulation training to facilitate surgical education. *Surg Endosc* 2011; 25: 28-35.
55. Jordan JA, Gallagher AG, McGuigan J, McClure N. Virtual reality training leads to faster adaptation to the novel psychomotor restrictions encountered by laparoscopic surgeons. *Surg Endosc* 2001; 15: 1080-1084.
56. Hyltander A, Liljegren E, Rhodin PH, Lönroth H. The transfer of basic skills learned in laparoscopic simulator to the operating room. *Surg Endosc* 2002; 16: 1324-1328.
57. Van Dongen KW, Tournoij E, van der Zee DC, Schijven MP, Broeders JA. Construct validity of the LapSim: can the LapSim virtual reality simulator distinguish between novices and experts? *Surg Endosc* 2007; 21: 1413-1417.
58. Verdaasdonk EGG, Stassen LPS, Schijven MP, Dankelman J. Construct validity and assessment of the learning curve for the SIMENDO endoscopic simulator. *Surg Endosc* 2007; 21: 1406-1412.
59. Gaba DM, DeAnda A. A comprehensive anesthesia simulation environment: re-creating the operating room for research and training. *Anesthesiology* 1988; 69: 387-394.

60. Cates CU, Patel AD, Nicholson WJ. Use of a virtual reality simulation for mission rehearsal for carotid stenting. *JAMA* 2007; 267: 265. Citado por Gallagher & O'Sullivan, GC. *Fundamentals of Surgical Simulation. Principles and Practice Chapter 2.*
61. Wolfe BM, Szabo Z, Moran M, Chan P, Hunter J. Training for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 1993; 7: 93-95. Presented at the Third World Congress of Endoscopic Surgery, June 20, 1992, Bordeaux, France.
62. Torkington J, Smith SGT, Darzi A. The role of simulation in surgical training. *Ann R Coll Surg Engl* 2000; 82: 88-94.
63. Gaba D. Improving anesthesiologist's performance by simulating reality. *Anesthesiology* 1992; 76: 491-494.
64. Wolfe BM et al. Training for minimally invasive surgery. *Surg Endosc* 1993; 7: 93-95. Presented at the Third World Congress of Endoscopic Surgery, June 20, 1992, Bordeaux, France.

El autor, primer firmante del presente artículo, declara que existe un potencial conflicto de interés, derivado de su actividad como fabricante de simuladores quirúrgicos y otros materiales utilizados para la enseñanza y entrenamiento en cirugía.