

**Artículo especial****Imagen digital, realidad virtual y aumentada**

José Francisco Noguera Aguilar^{a,b,*}

^a Servicio de Cirugía General y Aparato Digestivo. Hospital Obispo Polanco, Teruel, España

^b Servicio de Cirugía General y Aparato Digestivo. Hospital QuirónSalud. A Coruña, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO**Historia del artículo:**

Recibido el 22 de enero de 2024

Aceptado el 23 de enero de 2024

On-line el 19 de marzo de 2024

Palabras clave:

Imagen digital

Realidad virtual

Realidad aumentada

R E S U M E N

La percepción sensorial de lo captado es lo que conocemos como “imagen” y consta de un componente estático y un proceso dinámico. Este proceso continuo de captación de imágenes es indispensable en la cirugía. La imagen es vital para el cirujano, que la precisa para el diagnóstico, para el proceso terapéutico y para el seguimiento postoperatorio. En cirugía mínimamente invasiva la secuencia de imágenes es fundamental y nos lleva a la aparición del video digital. El video digital es la representación de imágenes en movimiento en forma de datos digitales codificados, a diferencia del clásico video analógico, con señales analógicas continuas.

Más allá de lo que podemos considerar la “imagen real”, lo que vemos como parte de la realidad existente, aparecen en estas décadas otras realidades; la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada. En el ámbito médico nos referimos a la creación o superposición, respectivamente, de un entorno virtual tridimensional de apoyo a procesos asistenciales y docentes o de investigación. A día de hoy, estas tecnologías ya han comenzado a integrarse en diversas especialidades quirúrgicas, siendo la planificación predictiva y la navegación intraoperatoria sus principales aplicaciones.

Cuando se hace uso de estos entornos digitales es difícil separar de forma completa la realidad virtual de aumentada, siendo en muchas ocasiones una Realidad Mixta. En los actuales desarrollos avanzados se ofrece un entorno que mezcla los mejores aspectos de ambas, unificando la simulación y necesitando un único casco o gafas para poder disfrutar de la experiencia sensorial. En esta fusión se podrá de forma simultánea crear un mundo virtual desde cero al que agregar elementos virtuales en nuestro entorno real.

© 2024 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Digital imaging, virtual and augmented reality**A B S T R A C T****Keywords:**

Digital image

Virtual reality

Augmented reality

The sensorial perception of what is captured is what we know as “image” and consists of a static component and a dynamic process. This continuous process of images capture is essential in surgery. The image is crucial for the surgeon, who requires it for the diagnosis, for the therapeutic process and for postoperative follow-up. In minimally invasive surgery

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: drjfnoguera@hotmail.com.

<https://doi.org/10.1016/j.ciresp.2024.01.015>

0009-739X/© 2024 AEC. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

the sequence of images is essential and promotes the appearance of digital video. Digital video is the representation of moving images in the form of encoded digital data, unlike classic analog video, with continuous analog signals.

Beyond what we can consider the “real image” (what we see as part of the existing reality) other realities appear in these decades; the Virtual Reality and Augmented Reality. With these realities we refer in the medical ambitus to the creation or superposition, respectively, of a three-dimensional virtual environment to support healthcare and teaching or research processes. Today, these technologies have already begun to be integrated into various surgical specialties, with predictive surgical planning and intraoperative navigation as their main applications.

When using these digital environments, it is difficult to completely separate virtual reality from augmented reality, often being Mixed Reality. The current developments offer an environment that mixes the best aspects of both, unifying the simulation and requiring a single helmet or glasses to enjoy the sensorial experience. In this fusion of realities it will be possible to simultaneously create a virtual world from scratch to which we can add virtual elements from our real environment.

© 2024 AEC. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Imagen y transformación digital

La imagen, entendida como la percepción sensorial de lo captado en el entorno por nuestro órgano de la vista, es un componente estático y un proceso dinámico fundamental, estratégico e indispensable en la cirugía. El cirujano necesita la imagen para el diagnóstico, la necesita para realizar el proceso terapéutico, fundamentalmente el quirúrgico, y la necesita para el seguimiento posoperatorio.

Ha pasado ya a la historia la presencia en las unidades de hospitalización y en las salas de sesiones de los servicios de cirugía de los negatoscopios, esas pantallas luminosas de cristal esmerilado alumbrado por detrás sobre el cual se ponían para su visualización las radiografías u otros negativos para ser observados por trasparencia. Pero no pensemos que esto es algo lejano; la transformación digital es algo reciente y que se ha ido implantando de forma progresiva con una aceleración creciente e imparable. Todavía hoy se encuentran en muchos hospitales salas de revelado y negatoscopios como ejemplo de un pasado no tan lejano.

¿Por qué es tan necesaria esta revolución digital? Son varias las ventajas de esta evolución en la digitalización de la imagen, siendo la más importante la facilidad y capacidad de almacenaje y facilidad de acceso posterior recuperándola desde un repositorio remoto. No es menos importante el problema medioambiental con relación a la generación de residuos al que contribuye positivamente esta digitalización de la imagen: las radiografías portan metales pesados como las sales de plata y otros que se desprenden de la parte plástica siendo, al igual que los productos de revelado, altamente tóxicos para el medio ambiente.

Según el diccionario de la Real Academia de la lengua Española (RAE) el término «digital» se refiere a un dispositivo o sistema «que crea, representa, transporta o almacena información mediante la combinación de bits». Una imagen digital está formada por una matriz de píxeles ($a \times b \times c$), donde a y b representarían la anchura y altura, siendo el c la profundidad

de color. Esta profundidad de bit es la tercera dimensión de la matriz y permite tener un color distinto en cada píxel. La imagen digital se define técnicamente como la representación en dos dimensiones de una imagen, basándose en una matriz numérica binaria. Esta representación de la imagen puede ser fija o estática y móvil o dinámica dependiendo de la resolución del dispositivo.

Esta imagen digital puede ser de dos tipos: vectorial o «bitmap» (mapa de bits). Las imágenes vectoriales están formadas por figuras geométricas simples como segmentos o polígonos. Cada una de estas figuras se configuran matemáticamente por parámetros de posición (coordenadas de inicio y final), de contorno, grosor y color, que permiten transformarlas rápida y fácilmente modificando su tamaño sin perder información o calidad en la imagen final. Este tipo de imágenes se emplean en diseño gráfico y en la creación de logotipos y dibujos ilustrativos (fig. 1). Las imágenes bitmap están compuestas por píxeles coloreados. Estos bits coloreados, imperceptibles al ojo humano, se unen visualmente en nuestra retina y conforman la imagen que finalmente vemos.

La resolución de la imagen digital es la característica que nos permite discernir con mayor o menor calidad los detalles de la imagen. La resolución viene definida, aunque no de forma exclusiva, por la cantidad de píxeles por pulgada que tiene la imagen, obteniendo la imagen mayor resolución digital cuantos más píxeles por pulgada tenga, este es el motivo de que aparezca la visión de los píxeles o no cuando se amplía la imagen en función de la resolución de la imagen (fig. 2).

El modo de color de la imagen digital define la cantidad de colores que pueden tener los píxeles en la formación de la imagen, obteniendo de forma progresiva imágenes de mayor calidad de acuerdo con el coloreado de la misma. Los más simples son el monocromático y la escala de grises. En el primero la imagen solo se forma con píxeles blancos o negros puros. En el modo de escala de grises se permiten hasta 256 tonos de grises, blanco y negro, que participan en la configuración de la imagen. Existen otros modos de mayor

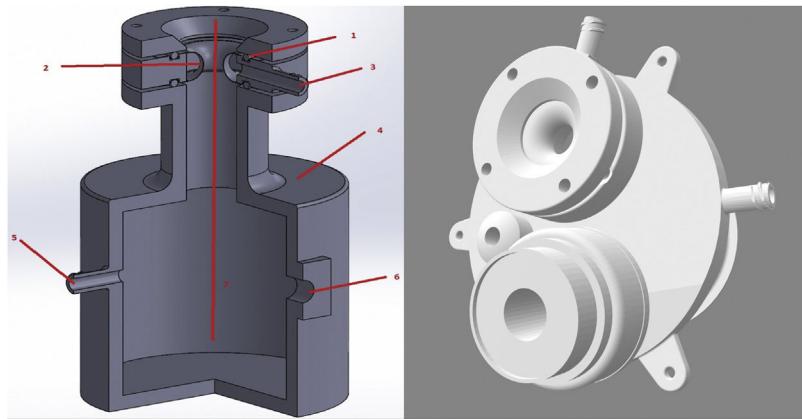


Figura 1 – Imágenes vectoriales empleadas en el diseño gráfico de un dispositivo quirúrgico.



Figura 2 – Visualización de los píxeles en la imagen al ampliarla, necesidad de mayor resolución.

riqueza como el más comúnmente empleado modo Red – Green – Blue (RGB), que permite una gran riqueza cromática por la gran variedad de colores en los píxeles de la imagen, o el modo Cian – Magenta – Yellow – Black (CMYK) que es el empleado en la impresión visualizando solo la mezcla de esos colores.

El formato de estas imágenes digitales es variado. Se conoce también como extensión y es la forma en que almacenamos la imagen. Los más usados son: el formato creado en 1992 por el Joint Photographic Experts Group (JPG/JPEG), empleado para entornos gráficos y web dado que permite un peso bajo del archivo; el formato «GIF», que permite una imagen animada que se emplea en iconos y anuncios publicitarios que tienen imagen, animación y sonido (*banners*); el formato Portable Document Format, de la empresa Adobe (PDF), que permite ver imágenes vectoriales y mapas de bits siendo por ello muy empleado en impresión; y el formato Portable Network Graphics (PNG), de gráficos de red portátiles, muy usado en web y diseño gráfico al permitir obtener degradados y transparencias.

En cirugía cuando hablamos de imagen es inherente que derivemos a pensar en la secuencia de imágenes, sobre todo en nuestra era de la cirugía endoscópica donde la imagen secuencial es fundamental, y ello nos lleva al video digital. El video digital es la representación de imágenes en movimiento en forma de datos digitales codificados, a diferencia del clásico video analógico, que representaba las imágenes mediante señales analógicas continuas.

Un formato de video digital es un conjunto de reglas que definen como almacenamos, organizamos y comprimimos la información visual y, en ocasiones, también la de audio, en un archivo. El primer intento de crear un formato de compresión de video digital se remonta a 1984, y fue en 1986 cuando en los estudios de televisión la marca Sony consiguió grabar en forma digital una señal de video por componentes, sin compresión. A diferencia del video analógico, el digital puede ser copiado sin degradar su calidad y puede ser almacenado en cintas magnéticas y medios ópticos, así como en medios informáticos y puede ser transmitido por flujos de video (*streaming*) y ser visualizado en dispositivos informáticos o televisivos.

Los formatos de compresión son necesarios para la compatibilidad entre distintos dispositivos y software de reproducción, permitiendo la reproducción de las imágenes de forma efectiva. El formato de video digital ha sido un avance que ha transformado la manera en que producimos y reproducimos el contenido multimedia, entre sus configuraciones se encuentran la calidad de la imagen, el tamaño del archivo generado y la capacidad de reproducción en distintos dispositivos. Los formatos más comunes son el conocido como evolución del Moving Picture Experts Group (MPEG) MP4, Audio Video Interleave, de Microsoft, 1992 (AVI), de Apple, 1998 (MOV) y Matroska video, derivado del Extensible Binary Meta Language (EBML) MKV, entre otros. Las cámaras digitales de video capturan las imágenes mediante exploración entrelazada o

por escaneo progresivo. La diferencia estriba en la captación de imágenes por segundo, que es mayor en el video entrelazado, a pesar de lo cual se prefiere las videocámaras con escaneo progresivo por su similitud con el cine.

La generación de video en cirugía es un problema por el tamaño de la información generada. El problema se genera cuando tenemos que guardar esa secuencia de imágenes y cuando tenemos que tratarla para editarla. Es por ello necesaria la compresión de esa ingente cantidad de bits mediante la compresión de video, que es una reducción de datos que conlleva una reducción en el tamaño del video digital. Lo que se realiza con la compresión es eliminar aquellos datos que tienen información redundante de forma temporal y espacial, como los «frames» (fotogramas que contienen una imagen concreta dentro de una sucesión de imágenes) repetidos sin variación, por ejemplo.

Existe una compresión sin pérdida de información donde la señal codificada conserva la calidad de la señal original, y una compresión con pérdida en la que la señal decodificada no es fiel a la señal fuente pues se ha perdido parte de la información que se considera no fundamental al considerarse que no es perceptible por el usuario final. Una vez se elimina esta información con la compresión con pérdida es imposible recuperar esa información desecharada. La compresión puede ser «intraframe», que unifica la información que es similar en los píxeles de un frame quitando información redundante, e «interframe», que elimina los datos repetidos entre frames, mostrando solo cuando se generan diferencias en los píxeles. Los distintos algoritmos de codificación son los llamados «códices», nombre que deriva del proceso de compresión y descompresión.

El discurso de la imagen digital y el video digital nos lleva a un concepto que está penetrando de forma progresiva en nuestros entornos quirúrgicos: la «Cirugía Digital» o Cirugía 4.0. La transformación digital nos ha permitido transitar desde la cirugía abierta (que ahora denominamos Cirugía 1.0) a la cirugía endoscópica o 2.0 en los años 80 y a la cirugía robótica o 3.0 a principios del presente siglo. La aplicación de la digitalización de la imagen, la inteligencia artificial, el análisis computacional de datos y el «machine learning» (aprendizaje de la computadora) en el proceso quirúrgico nos abre la era de la Cirugía 4.0 o cirugía digital.

La irrupción del mundo digital en el proceso quirúrgico ha mejorado indefectiblemente la calidad de las imágenes visualizadas y almacenadas, así como el propio proceso por la posibilidad de fusionar imágenes reales y virtuales (simulación, realidad virtual [RV], impresión 3D...) y la ayuda en la toma de decisiones proporcionada por el análisis computacional del «big data», esa ingente cantidad de datos imposible de ser procesada por tecnologías y herramientas convencionales¹⁻⁹.

Esta revolución digital y sus necesidades ha sido recogida en el actual Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, llamado «Plan España Puede» del gobierno estatal, que establece un plan de transformación digital en un periodo de 2021 a 2025¹⁰. Dentro del plan se establece un Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) específico para la salud que lleva por nombre «La salud de vanguardia». En este plan se identifica la salud como una de las grandes líneas dentro de los proyectos estratégicos para la

recuperación y transformación económica y enmarca el desarrollo de procedimientos innovadores para mejorar la prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación de forma personalizada. La finalidad es realizar una transformación del sector salud con acciones en las que la ciencia, la innovación y la digitalización vayan de la mano para afrontar los nuevos retos sanitarios.

Dentro del plan ocupa un lugar destacado la medicina de precisión: una forma de tratar a los pacientes que incorpora los datos genómicos de las personas y los combina con datos clínicos, radiológicos, de exposición ambiental, hábitos de vida, factores socioeconómicos y otros considerados relevantes para disponer de una información más precisa e integrada del paciente. En el PERTE para la salud de vanguardia existen, entre otras, unas líneas estratégicas que enlazan con la transformación digital, como son: desarrollar un Sistema Nacional de Salud digital, con una base de datos integrada para mejorar la prevención, el diagnóstico, el tratamiento, la rehabilitación y la investigación; y potenciar la atención sanitaria primaria a través de la transformación digital, con la aplicación de tecnología avanzada para todas las actividades que impliquen relación con la ciudadanía y la gestión de los recursos en cualquier punto del país y en todos los ámbitos asistenciales, en condiciones de ciberseguridad. En esta última línea estratégica se considera el impacto de los avances tecnológicos, como las tecnologías de la información y la robótica médica, que permiten el desarrollo de nuevas técnicas diagnósticas y terapéuticas y de salud digital mediante la innovación en digitalización de la salud y la sinergia entre tecnologías emergentes. Los avances en robótica, inteligencia artificial, sensores, modelado e impresión 3 D, bioimpresión y tecnologías inmersivas permiten y permitirán responder a las necesidades actuales y futuras mejorando la asistencia quirúrgica y la formación quirúrgica¹¹.

Realidad virtual

En términos generales, cuando hablamos de RV y Realidad Aumentada (RA) en el ámbito médico nos referimos a la creación o superposición, respectivamente, de un entorno virtual tridimensional de apoyo a procesos asistenciales y docentes o de investigación. A día de hoy, estas tecnologías ya han comenzado a integrarse en diversas especialidades quirúrgicas, siendo la planificación predictiva y la navegación intraoperatoria sus principales aplicaciones, ayudando a conocer con precisión la región anatómica de interés y proporcionando referencias para una cirugía más segura. Así mismo, cada vez es más utilizada en docencia y simulación clínica, en combinación con la respuesta haptica, proveyendo, de esta manera, un entrenamiento de calidad mediante la recreación virtual de procedimientos quirúrgicos en un entorno inmersivo y seguro¹².

Tal y como demanda la Estrategia de Salud Digital del Sistema Nacional de Salud (SNS), la incorporación de la RV y la RA al mismo se presenta como un ítem clave para impulsar su transformación hacia la “Innovación y atención sanitaria 5P” (Medicina 5 P: Personalizada, Predictiva, Preventiva, Participativa y Poblacional). Esta incorporación se traduce en nuevos

servicios, de mayor calidad y adaptados al paciente, que faciliten la actividad de los profesionales clínicos, incrementando su satisfacción y su desempeño y competencia en prevención, diagnóstico y tratamiento, y que pongan en valor así mismo el bienestar y la seguridad de la población. Esta Medicina 5 P es un paradigma que solo podrá desarrollarse a través de la tecnología aplicada a la práctica clínica y a la gestión médica.

No obstante, cabe destacar que existe un gran campo de desarrollo en cuestión de software, en términos de colaboración, interacción e integración en la práctica clínica. Además, el entrenamiento quirúrgico en sí mismo no es suficiente para la adquisición de competencias y el desarrollo de habilidades, sino que es fundamental también proveer de retroalimentación sobre el desempeño. Aunque ha habido un mayor interés en los últimos años en el desarrollo de metodologías de retroalimentación en entrenamientos quirúrgicos virtuales, rara vez se ha investigado su efectividad en la práctica. Por otra parte, limitados artículos analizan el impacto de estas tecnologías en los procesos asistenciales mediante estudios prospectivos aleatorizados; lo mismo ocurre con las métricas de validación en simuladores.

En base a lo previamente expuesto, se están diseñando proyectos de desarrollo, integración y validación de sistemas de RV y aumentada adaptados a las necesidades del ecosistema quirúrgico¹³. Estos proyectos suelen centrar sus actividades básicas en la planificación quirúrgica y entrenamientos quirúrgicos personalizados, si bien la evolución más interesante está en la posibilidad de realizar navegación y guiado intraoperatorio gracias a la aplicación del aprendizaje automático basado en la retroalimentación basada en algoritmos propios de la IA (Inteligencia Artificial).

En sentido estricto la RV es un entorno de escenas y objetos de apariencia real, generados mediante tecnología informática, que genera la sensación para el usuario de estar inmerso en dicho entorno. La capacidad inmersiva se genera gracias a la visualización a través de gafas o cascos de RV, que nos sitúan dentro del entorno simulado (fig. 3). Aunque esta experiencia parezca reciente, sus orígenes parecen remontarse a los años 50 cuando aparecieron dispositivos para poder visualizar películas en 3 D en un entorno que asociaba sensaciones olfativas y movimientos del entorno.

La RV es una tecnología con gran desarrollo y proyección, que multiplicará su penetración en distintos campos y que se incorporará a la transformación digital de la mayoría de las empresas. La mejoría de las interfaces (conexiones entre elementos o componentes) virtuales y de algunos problemas como el mareo producido en algunos usuarios y la mejora en la calidad y definición de las imágenes son algunos de los ejes actuales de desarrollo, así como la incorporación de la IA y la interconexión de entornos virtuales entre comunidades de usuarios gracias a la incorporación del 5 G.

Realidad aumentada

La RA es una tecnología que permite superponer elementos virtuales sobre nuestra visión de la realidad. Así como en la RV se oculta el entorno real para que solo se vea el contenido digital, en la RA se intercala y sobrepone el contenido digital a lo que tenemos en nuestro entorno real¹⁴. Mientras que en la RV no podemos apreciar lo que tenemos delante ni a los lados, con la RA veremos todo ello y de forma adicional lo que queramos añadir en forma de holograma digital (fig. 4).

La diferencia la podemos encontrar también en los cascos o gafas para ambos tipos de realidad. En la virtual son opacas, no llevan cristales a través de los cuales visualizar, nos «ciegan» en cierta forma para ocultarnos la realidad y mostrarnos el entorno virtual, mientras que las gafas de RA son transparentes para no dejar de ver el entorno.

El origen del término de RA parece venir del año 1992 cuando Caudell pensó en idear unas pantallas que guiasen a los montadores de la industria aeronáutica para ensamblar las distintas piezas mejorando con ello la interpretación de las guías de montaje e instalación¹⁵. Si bien esto fue el origen, el ejemplo más claro de uso de la RA se produjo con el lanzamiento del videojuego «Pokemon Go» en el año 2016, que insertaba personajes de dibujos animados en entornos personales diarios reales.

En la aplicación diaria de estos tipos de entornos digitales es difícil separar de forma completa lo que es RV de aumentada, siendo en muchas ocasiones una Realidad Mixta, mezcla entre ambas. En estos desarrollos se ofrece un entorno que mezcla los mejores aspectos de ambas, unificando la

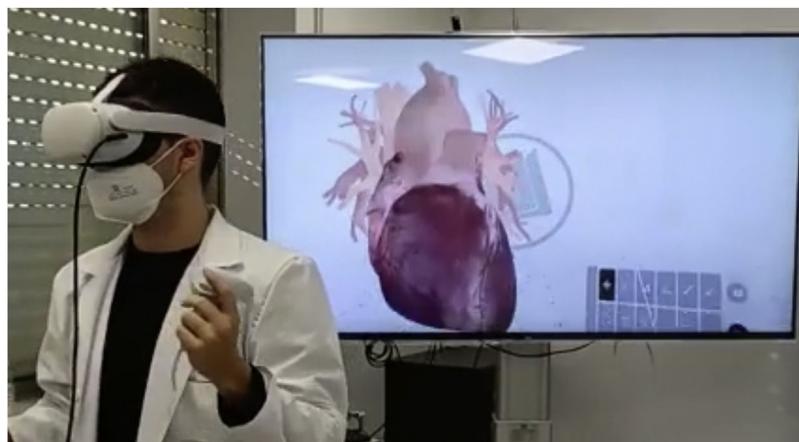


Figura 3 – Inmersión en la estructura cardíaca mediante realidad virtual.



Figura 4 – Aplicación de la Realidad Aumentada en el entorno sanitario. <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-realidad-aumentada>

experiencia para que solo se necesite un único casco o gafas para poder utilizar ambas. A pesar de estar entrelazadas, plantean revoluciones diferentes. Mientras que la RV permite crear un mundo virtual desde cero con todo lo que queramos, pero un mundo fantástico, lo que hace la RA es agregar elementos virtuales (información adicional en forma de gráficos o imágenes) a nuestro entorno real.

Según declaraciones de Tim Cook, director ejecutivo de Apple, «La RA abarca más que la RV porque nos da la posibilidad de estar presentes y de comunicarnos y, simultáneamente, de disfrutar de otras cosas a nivel visual. Será la próxima revolución, como en su momento lo fue el smartphone». Esta revolución será, junto a la inteligencia artificial y el «internet de las cosas» un cambio de paradigma en la medicina y de forma particular, en la cirugía.

B I B L I O G R A F Í A

1. Ashrafi N, Kelleher L, Kuilboer J-P. The impact of business intelligence on healthcare delivery in the USA. *IJIKM*. 2014;9:117–30.
2. Cook JA, Collins GS. The rise of big clinical databases. *Br J Surg*. 2015;102:e93–101.

3. Chen M, Mao S, Liu Y. Big data: A survey. *Mobile Netw Appl*. 2014;19:171–209.
4. Frieden TR. Evidence for Health Decision Making - Beyond Randomized, Controlled Trials. *N Engl J Med*. 2017;377:465–75.
5. Hilbert M, López P. The world's technological capacity to store communicate, and compute information. *Science*. 2011;332:60–5.
6. Kanevsky J, Corban J, Gaster R, Kanevsky A, Lin S, Gilardino M. Big data and machine learning in plastic surgery: A new frontier in surgical innovation. *Plast Reconstr Surg*. 2016;137:890e–7e.
7. Kassahun Y, Yu B, Tibebu AT, Stoyanov D, Giannarou S, Metzen JH, et al. Surgical robotics beyond enhanced dexterity instrumentation: a survey of machine learning techniques and their role in intelligent and autonomous surgical actions. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2016;11:553–68.
8. Kruse CS, Goswamy R, Raval Y, Marawi S. Challenges and Opportunities of Big Data in Health Care: A Systematic Review. *JMIR Med Inform*. 2016;4:e38.
9. Targarona EM, Balla A, Batista G. Big data and surgery: The digital revolution continues. *Cir Esp (Engl Ed)*. 2018;96:247–9.
10. PERTE para la salud de vanguardia. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia. Gobierno de España. Disponible en <https://planderecuperacion.gob.es/como-acceder-a-los-fondos/pertes/perte-para-la-salud-de-vanguardia> [consultado 12 Ene 2024].
11. Marescaux J, Diana M. Looking at the future of surgery with the augmented eye. *Ann Laparosc Endosc Surg*. 2016;1:36–43.
12. Satava R. Innovative technologies. The Information Age and the BioIntelligence Age. *Surg Endosc*. 2000;14:417–8.
13. Twinanda S, Shehata D, Mutter J, Marescaux M, Padov N. EndoNet: A deep architecture for recognition tasks on endoscopic videos. *IEEE Trans Med Imaging*. 2017;36:86–97.
14. Williams MA, McVeigh J, Handa AI, Lee R. Augmented reality in surgical training: a systematic review. *Postgrad Med J*. 2020;96:537–42.
15. Caudell TP, Mizell DW. Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. Vol. 2. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences, Kauai, HI, EE. UU.; 1992. p. 659–69, <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>.