

## Relato Oficial

Año 2022 | Suplemento

### 92º Congreso Argentino de Cirugía

# Innovación tecnológica en Cirugía

**Diego L. Sinagra<sup>1</sup>**

**Fernando E. Elli<sup>2</sup>**

#### Colaboradores

Lucas N. Pina

Martin J. Drago

<sup>1</sup> Doctor en Medicina. Universidad de Buenos Aires (UBA).

Jefe de División de Cirugía Oncológica y Cabeza y Cuello. Hospital de Clínicas José de San Martín.

Profesor Adjunto de Cirugía de la Facultad de Ciencias Médicas. UBA.

Director de la Carrera de Especialista de Cirugía Oncológica. Facultad de Ciencias Médicas. UBA.

Subsecretario de la Secretaría de Relaciones Internacionales. Facultad de Ciencias Médicas. UBA.

Coordinador del Internado Anual Rotatorio. Facultad de Ciencias Médicas. UBA.

Miembro titular de la Asociación Argentina de Cirugía (AAC).

Miembro de la Sociedad Argentina de Cabeza y Cuello.

Scholarship del American College of Surgeons (FACS)

Fellow del American College of Surgeons.

Ex Presidente del Capítulo Argentino del American College of Surgeons.

Profesor de Cirugía de la Mayo Clinic, College of Medicine and Science.

<sup>2</sup> Jefe de División de Cirugía Gastroenterológica Avanzada y Bariátrica. Departamento de Cirugía, Clínica Mayo Florida.

Director del Programa de residencia de Cirugía General. Mayo Clinic Florida.

Director asociado del Programa de fellowship de Cirugía Gastroenterológica Avanzada.

Miembro del comité de acreditación de programas de fellowship del Fellowship Council.

Fellow del American College of Surgeons.

Miembro de la Asociación Argentina de Cirugía.

Miembro Honorario de la Sociedad de Cirugía de Tucumán.



## Introducción

La innovación en cirugía, entendida como cualquier desviación de las prácticas estándar, es necesaria ante desafíos relacionados no solo con la eficacia o efectividad de las intervenciones sino con la calidad, el acceso a la salud y la viabilidad de atención médica. Los entornos de atención médica pueden fomentar la innovación relacionada con la salud mediante enfoques creativos como una forma de progreso.

El objetivo de este Relato es profundizar en el proceso de innovación en cirugía mediante un recorrido por las diferentes épocas en la historia desde sus comienzos hasta la cirugía moderna que actualmente practicamos. Si bien es muy difícil enumerar y describir absolutamente todas las innovaciones que fueron

surgiendo en cirugía desde sus comienzos hasta la actualidad, intentaremos desarrollar las más importantes o aquellas que han marcado un cambio de paradigma en el acto quirúrgico.

Continuaremos con cuestiones asociadas propiamente a la innovación, haciendo hincapié en los reparos ético-legales y los procesos de desarrollo para tener en cuenta para la introducción de nuevas tecnologías y los entes responsables en el contexto tanto nacional como internacional.

Finalmente, haremos una introducción de las tecnologías en desarrollo y vislumbraremos proyectando hacia el año 2100 aquellos avances que van a permitir desarrollar un nuevo concepto de cirugía moderna.

## Historia de la innovación en cirugía

La cirugía es el arte de trabajar con las manos. Su nombre deriva del latín, de la palabra *chirurgia*, la cual a su vez proviene del griego *cheiourgia* y esta de *cheiros* (mano) y *ergon* (trabajo). Como rama de la medicina, la cirugía se ocupa de lesiones, deformaciones y cambios físicos nocivos para la salud que requieren tratamiento manual, con instrumentos o sin ellos. El cirujano francés Ambroise Paré, en el siglo XVI, describió las preocupaciones de un cirujano al detallar los cinco bien conocidos deberes: remover lo superfluo, restaurar lo que se ha dislocado, separar lo que se ha juntado, reunir lo que se ha dividido y reparar los defectos de la naturaleza.

Los orígenes remotos de la cirugía –como los de muchas otras actividades humanas– se pierden en la oscuridad de los tiempos. Según algunos autores, la cirugía es tan antigua como la humanidad, por lo tanto, su antigüedad puede estimarse en 150 millones de años.

### Antiguos procedimientos relacionados con cirugía

#### Control del dolor

Nuestros antepasados probablemente tenían mayor tolerancia al dolor que nosotros. Sin embargo, buscaron formas de detenerlo naturalmente, tanto con el tratamiento de las enfermedades como con el uso de analgésicos o anestésicos en operaciones.

Quizá la forma más antigua de mitigar el dolor fue el uso del alcohol, el cual se descubrió hace mucho tiempo y fue producido por casi todos los pueblos de una forma u otra. En muchas tribus, tanto el paciente como el cirujano se emborrachan para prepararse para la cirugía.

Los analgésicos más antiguos que se conocen son el opio de China, el hachís o cáñamo indio y la mandrágora. El opio era familiar para los chinos hace varios miles de años, aunque al principio no como analgésico probablemente debido a una peculiar diferencia en lo que respecta a los efectos farmacológicos del opio. Los europeos y otros pueblos occidentales tienden a sentir los efectos analgésicos, mientras que los chinos y otros pueblos asiáticos reaccionan más a menudo con euforia y alucinaciones. Por este motivo, es probable que las propiedades analgésicas del opio se explotaran muy pronto al llegar a Europa donde parece haber estado presente por lo menos en el año 700 a. C., cuando el poeta épico Homero compuso la *Ilíada* y la *Odisea*.

En cuanto a la anestesia local, que tiene miles de años, se comentan algunos antecedentes en América del Sur. Los indios de Perú, Bolivia y el valle

del Amazonas conocían los efectos farmacológicos de las hojas de coca, que masticaban por placer y embriaguez. Cuando un sacerdote inca trepanaba, se sentaba encima del paciente, sujetando con fuerza la cabeza entre las rodillas. Mientras incidía la piel, se fortalecía masticando coca y aliviaba al paciente escupiendo copiosamente en la herida. Podemos considerar este acto como una innovación, la cual permitió realizar procedimientos quirúrgicos con cierta tolerancia al dolor para esa época.

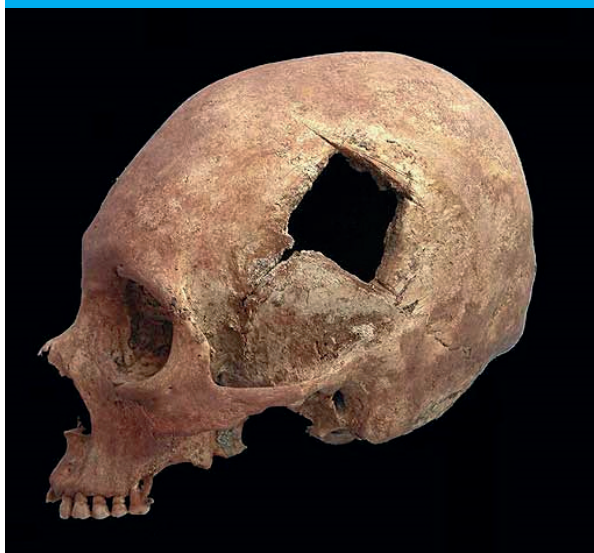
#### Trepanación craneal

Poco se sabe acerca de la cirugía primitiva en las culturas del paleolítico e incluso del neolítico. Una de las prácticas de cuya existencia tenemos pruebas es la trepanación craneal. Se han encontrado numerosos cráneos que atestiguan esas intervenciones en distintos contextos culturales y geográficos, extendidos por prácticamente todo el mundo. Los ejemplos más antiguos, descubiertos en el sur de Rusia y en Francia, datan de alrededor del año 5000 a.C. Es difícil establecer el contexto y las razones para la realización de esta forma de cirugía primitiva. Hay quienes sugieren que en su principio podría haberse tratado de alguna forma de ritual mágico-religioso, pero en los casos americanos, particularmente en las culturas andinas, pudieron estar relacionados con el uso de garrotes y armas contundentes que provocaban fracturas de cráneo. En ese contexto quizá la práctica tuviera un fin terapéutico para aliviar la presión intracraneal. Quizá también tenía como objetivo intentar tratar cefaleas recurrentes. En todo caso, es posible que religión y práctica médica sencillamente se entrelazaran. Una característica notable en muchas de las trepanaciones craneales antiguas es que los cráneos de los ‘pacientes’ presentan signos de supervivencia a la operación, incluso varios años posteriores a ella.

Es interesante el elegante procedimiento que dio nombre a esta operación. Con un taladro, llamado *tripanón* en griego, se hizo una corona de pequeños agujeros. Estos se podían unir fácilmente con un cincel o un cuchillo. Tal operación tomó poco tiempo incluso con herramientas primitivas (Fig. 1).

Los curanderos o chamanes que se ocupaban de las trepanaciones ocupaban un lugar destacado en la sociedad y hasta pudieron hacer fortuna con la práctica. No solo podemos suponer que fueron bien recompensados por cada paciente curado y su familia. Además, realizaban un intenso comercio con los trozos de hueso que extraían de los cráneos de las personas.

■ FIGURA 1



Trepanación craneal

Estos amuletos eran muy apreciados por su protección mágica contra enfermedades y accidentes. Los investigadores incluso se han preguntado si la demanda de hueso del cráneo contribuyó a la prescripción de las trepanaciones. Hay registro de amuletos que miden alrededor de 8-9 cm. No parece existir ninguna razón médica para hacer agujeros de ese tamaño y es muy poco probable que los pacientes sobrevivieran, por el alto riesgo de infección grave como una meningitis.

El cirujano más importante del siglo XVII, Olof af Acrel (1717-1806), Jefe Médico del Hospital Seraaphim de Estocolmo, definió la trepanación como "liberar lo que se ha forzado a salir de los vasos sanguíneos". Un experto cirujano francés, Just Lucas-Championnière (1843-1913), necesitó solo 35 minutos para completar la operación. Durante el siglo XIX, un científico que viajaba por el Pacífico Sur vio a un curandero hacerlo en media hora. ¡Su paciente despertó después de varios días de inconsciencia y recuperó una salud perfecta! Aunque la trepanación sea parte de los orígenes remotos de la cirugía, fue descrita por antropólogos y etnógrafos como practicada por sociedades primitivas aisladas hasta en el siglo XX.

### Fracturas y heridas

Otra forma de intervención durante el neolítico que está documentada es el entablillado de fracturas. Los testimonios arqueológicos más antiguos de esta práctica datan del año 2450 a.C., pero seguramente fue todavía anterior.

Según algunos descubrimientos de la arqueología, podemos suponer que las primeras cirugías fueron para la curación de heridas. Un rasgo común de

algunas tribus fue, luego de la instrumentación, el instinto de tapar la herida con hojas, algunos fragmentos de plantas o hasta tela de arañas.

Los etnógrafos dan cuenta de prácticas médicas que aún existen o existieron hasta hace poco en pueblos primitivos en África y Sudamérica, como la sutura de heridas utilizando insectos. Se acercan los labios de la herida, se hace que el insecto muerda ambos lados, luego se lo mata y se dejan solo las mandíbulas del insecto para que funcionen como sutura. Esta práctica relevada por etnógrafos pudo haber sido utilizada en el pasado remoto, pero no tenemos confirmación de esta hipótesis.

## Historia de la cirugía por épocas

### Mesopotamia

La figura del cirujano-barbero aparece en las civilizaciones de la Media Luna de las Tierras Fértiles. En verdad, no formaba parte del grupo de los médicos, sino se lo trataba más bien como un artesano.

El famoso Código de Hammurabi (ca.1700 a.C.) regulaba la práctica de la cirugía. La legislación del rey mesopotámico era extremadamente severa con los cirujanos-barberos y los hacía responsables de la muerte de sus pacientes.

Aunque en el Código se mencionan operaciones e intervenciones oftalmológicas, no tenemos descripciones de ellas. Hay tablillas mesopotámicas en las que se aconseja limpiar heridas infectadas en el cráneo cortando y avanzando hasta el hueso para sacar el pus.

Aunque es poco lo que sabemos de este período, la innovación más importante fue la aparición del instrumental de bronce, que reemplazó a los cuchillos de piedra pulida del neolítico.

### Egipto

Los desarrollos de la medicina y cirugía egipcia parecen haber sido más importantes que en la Mesopotamia. Al menos, eso permiten suponer los nueve papiros médicos que han sobrevivido hasta la actualidad provenientes del segundo milenio antes de Cristo (ca. 2000-1000 a.C.). Uno de ellos, el llamado Papiro Edwin Smith, contiene textos que podrían incluso remontarse a tiempos mucho más antiguos, quizás hasta principios del tercer milenio (ca. 3000-2500 a.C.). Este papiro está dedicado exclusivamente a la cirugía y se describen cuarenta y ocho casos quirúrgicos.

En el Antiguo Egipto, la circuncisión masculina (quizá también se practicara la femenina) era realizada para curar o evitar la fimosia o la parafimosis y es probable que los hebreos la hayan tomado de los egipcios como práctica religiosa habitual. Podemos ver así que

cirugía, magia y religión se encontraban íntimamente relacionadas en el Oriente Antiguo.

Los cirujanos egipcios contaban con un instrumental más variado y preciso que los mesopotámicos, quizá como consecuencia de la práctica del embalsamamiento, lo cual obligaba a intervenir los cadáveres sin destruirlos en el proceso. Sin embargo, no es posible establecer fidedignamente una relación directa entre embalsamamiento y cirugía en el Egipto Antiguo.

## Grecia

Los griegos mantuvieron estrechos contactos con la civilización egipcia y recibieron su influencia, claramente visible en el arte arcaico heleno. Probablemente también hayan sido influenciados en materia médica y quirúrgica. En todo caso, los yacimientos arqueológicos de los griegos micénicos (ca. 1600-1100 a.C.), civilización descrita tardíamente por Homero en la *Ilíada* y la *Odisea*, nos han entregado numeroso instrumental quirúrgico, pero no tenemos tratados sobre cirugía de este período de la cultura griega. Sin embargo, en la *Ilíada* se describe el tratamiento de heridas por personal con conocimientos de cirugía, aunque no representaran un cuerpo médico militar específico. Según Homero, varios héroes helenos, quienes habían sido heridos, fueron intervenidos y curados por Macaón, hijo de Asclepios. Sin embargo, esto solo demuestra que los soldados trataban sus propias heridas y las de sus compañeros; es probable que fuera producto de un conocimiento empírico.

En la Grecia clásica, la práctica médica fue dominada por las enseñanzas de Hipócrates (460-370 a.C.). La forma racional de aproximarse a la enfermedad es el rasgo sobresaliente de este médico heleno y su escuela, de allí que se lo considere el padre de la medicina en Occidente.

En el *Corpus Hippocraticum* está reunida la compilación de textos tanto de Hipócrates como de los discípulos de su escuela. En estos escritos se dan instrucciones precisas acerca de la cirugía. De las prácticas quirúrgicas descritas, probablemente sobresalga el tratamiento efectivo y 'moderno' del empiema. También en esos textos hay numerosas indicaciones, incluso el uso de máquinas, pesos y sogas, para reducir fracturas y dislocaciones producidas tanto por la guerra como por las prácticas atléticas. Usaban fíbulas para cerrar heridas.

Herón de Alejandría (ca. 10-70 d.C.) fue un ingeniero y matemático helenístico quien describió un dispositivo hidráulico, una jeringa, concebida para controlar la liberación de agua o de aire, utilizada para drenar abscesos.

Sin embargo, la práctica de la cirugía es secundaria en la medicina hipocrática, más preocupada por el correcto equilibrio armónico de los humores del cuerpo humano principalmente a través de la dieta.

## Roma

Con la conquista romana del Mediterráneo, la medicina griega, mucho más desarrollada que la romana, se convirtió en la medicina del Imperio. Los caminos de la incorporación de la medicina helénica al mundo romano fueron numerosos.

El testimonio más importante lo podemos encontrar en *De medicina* de Celso (ca. 25 a.C.- 50 d.C.), que incluye capítulos dedicados a la cirugía en los cuales se encuentran, entre otros casos, las primeras descripciones de cirugías plásticas. También contiene técnicas quirúrgicas para la extracción de piedras de la vejiga, de hernias inguinales y extracción del pterigión, entre muchas otras. El texto de Celso es un compendio del avanzado estado de la medicina y la cirugía grecorromanas en tiempos del nacimiento y predicación de Cristo.

Alrededor del año 80 d.C., Heliodoro fue el primero en tratar la estenosis uretral a través de la ureterotomía interna; también fue el primero en describir la ligadura y torsión de vasos sanguíneos.

Unos años más tarde, Sorano de Éfeso (98-138 d.C.), considerado el padre de la Ginecología y Obstetricia, escribió su obra maestra *Sobre las enfermedades de las mujeres*, en el que incluyó un tratado sobre el parto y que se usó como guía por más de quince siglos. Describió la histerectomía por prolapso y otras prácticas quirúrgicas obstétricas y ginecológicas.

Un lugar aparte merece el sistema de sanidad militar romano, en particular, durante el Imperio. La primera mención de médicos en el ejército romano proviene de Marco Tulio Cicerón (106-43 a.C.), aunque no sabemos si esto implicaba la presencia de un sistema de atención al herido. Con posterioridad a Augusto, emperador romano desde el año 27 a.C. hasta su muerte en el 14 d.C., aparecen los famosos *valetudinaria* (hospitales militares) adscriptos a las legiones. Todos los que se han identificado se encontraban en las fronteras y tenían una arquitectura propia. Sin embargo, es muy poco lo que sabemos acerca de la naturaleza del personal presente en los *valetudinaria*, tal vez hubiera médicos griegos con formación como cirujanos (algunas menciones van en ese sentido), pero podrían haber sido cirujanos empíricos formados directamente en un contexto militar. En todo caso, la idea de un hospital de cirugía militar, cercano a las unidades militares, no volvería a aparecer hasta la modernidad temprana (los hospitales aparecen en la Edad Media en un contexto religioso).

Posiblemente, el mayor y más influyente de los médicos-cirujanos de la Roma imperial fue Galeno de Pérgamo (129-200 d.C.). Luego de sus estudios médicos, que lo llevaron a Alejandría, Galeno se convirtió en médico de gladiadores en Pérgamo por lo cual, en su práctica, la cirugía tenía un lugar central. Sin embargo, su fama la habrá de ganar en Roma, cuando se convirtió en médico personal del emperador Marco Aurelio. Una

de las grandes ideas de Galeno, la cual hasta hoy en día es de sentido común, fue que todo cirujano debía tener un profundo conocimiento de la anatomía. De allí que las descripciones anatómicas de Galeno hayan ocupado el lugar de 'la anatomía' en Occidente hasta que fueran reemplazadas por las observaciones de Vesalio durante el Renacimiento. Galeno realizó cirugías no intentadas hasta entonces como la resección exitosa de parte de un esternón, probablemente con osteomielitis; cirugías de cráneo y tratamiento de tendones lesionados en gladiadores con traumatismos. Galeno fue el último gran cirujano innovador de la Antigüedad Clásica y se convirtió en la autoridad central para el estudio de la cirugía en la Edad Media y hasta la Modernidad temprana.

### Edad Media

Luego de la caída del Imperio Romano de Occidente, el conocimiento médico de griegos y romanos, fue preservado en textos dentro de monasterios. Muchos colocaban sus esperanzas en Dios para curarse. Durante la Edad Media predomina el desarrollo de una cirugía empírica que, en gran medida, es difícil de reconstruir. A partir de fines del siglo XI y principios del XII, la recuperación de la tradición médica y quirúrgica grecorromana –especialmente el *Corpus Hippocraticum* y los textos de Galeno–, se produjo a través de textos árabes. De esta manera se recibió en Occidente un conjunto de textos médicos, no solo griegos sino también árabes y judíos, fundamentales para la medicina europea hasta el Renacimiento.

La idea de cirujano como cuerpo específico de especialistas, quienes son llamados y reconocidos como cirujanos (con ese término) es un fenómeno medieval. Los primeros tratados específicos sobre cirugía son de ese período de la historia europea y se originan en la llamada Escuela de Salerno, primera escuela médica medieval situada en la ciudad de Salerno, Italia.

El primer verdadero gran tratado sobre cirugía fue escrito por Rogelio o Rogerius (1140-1195), en la segunda mitad del siglo XII (1180). Su obra, *Practica chirurgiae* (La práctica de la cirugía), conocida también como *Chirurgiae magistri Rogerii* (La cirugía del maestro Rogerio), era una guía para la práctica quirúrgica, escrita por quien la practicaba. Este primer texto medieval de cirugía dominó en toda Europa y fue actualizada el año 1250 en una nueva edición por Rolando de Parma. Rolando, uno de los discípulos de Rogelio, fundó un *studium* en Bolonia y la cirugía entró en la universidad. Fue también en Bolonia donde, a fines del siglo XIII, se introdujo la práctica de las disecciones, bajo la influencia de la idea galénica de la importancia del estudio de la anatomía para la práctica médica.

Paralelamente, la práctica de la cirugía se había extendido a toda Europa y aparecieron los gremios de cirujanos en casi todas las ciudades europeas. Estos cirujanos no necesariamente estaban conectados con

el estudio de la medicina en las universidades, pero se relacionaban con estas a través de los textos que allí se producían, que iban a ser traducidos del latín a las lenguas vernáculas, o comenzarían a escribirse textos sobre cirugía en estas lenguas a partir del siglo XIV.

El texto sobre cirugía más importante de la Edad Media tardía fue la *Chirurgia magna* de Guy de Chauliac (1298-1368) publicado, en forma de manuscrito, por supuesto, en 1363. Trataba acerca de heridas, fracturas, tumores, llagas, hernias, úlceras y cataratas. Sería el manual más importante de cirugía por los siguientes dos siglos y sería publicado en forma impresa en 1478.

### Renacimiento

Grandes transformaciones sociales, económicas y políticas de Europa culminaron con el reconocido Renacimiento (siglo XV al XVI), denominado así por la vuelta a los clásicos –Grecia y Roma–.

La aparición de la imprenta de tipos móviles, alrededor de 1450, influyó sobre la cirugía al igual que en el resto de las ciencias. En 1497, el cirujano alemán Jerónimo Brunschwig (ca. 1450-ca. 1512) publicó su *Liber de arte distillandi de simplicibus*, el primer tratado de cirugía con ilustraciones. Pero esto no necesariamente implicaba avances en la práctica.

En 1514, el cirujano italiano Giovanni de Vigo (1450-1525) publicó su *Practica in arte chirurgica copiosa*, un manual de cirugía que sostenía, entre muchas otras cosas, que las heridas de bala eran venenosas y que, en lugar de limpiarlas y suturarlas como cualquier otra herida, debían ser cauterizadas con aceite hirviendo. Esta creencia se mantuvo durante cerca de un siglo e hizo bastante daño.

Leonardo da Vinci (1452-1519), figura reconocida del Renacimiento, realizó estudios anatómicos recogidos en el *Manuscrito Anatómico A* (ca. 1510-1511) centrado en osteología y miología.

En 1543, Andrés Vesalio (1514-1564) publicó su *De humani corporis fabrica*, el primer manual moderno de anatomía, que impondría el estudio de la anatomía y la disección como partes indispensables en la formación del médico-cirujano.

Probablemente el más notable cirujano del renacimiento fue Ambrosio Paré (1510-1590), a quien los franceses reconocen como padre de la cirugía moderna, con buenas razones. Publicó un tratado en 1545 en el que describía sus experiencias como cirujano militar en el ejército francés. Fue quien primero contradujo a de Vigo y dejó de tratar las heridas de bala con aceite hirviendo. Llegó a esta conclusión a través de la experimentación, tratando de diversa forma a diversos pacientes, y la comparación de la evolución de sus heridas. Paré también recomendó la ligadura de los vasos más importantes en las amputaciones y desaconsejó el uso de torniquetes. Sin embargo, se



trataba de una técnica compleja y tardó en ser practicada ampliamente.

Estudios anatómicos, disección y método experimental fueron los grandes avances que el Renacimiento dejó en la práctica de la cirugía Occidental. Paré y Vesalio son dos nombres fundamentales en las innovaciones de la época.

### Edad Moderna

Se pueden mencionar avances notables en la temprana Modernidad, como la invención de la primera cirugía para la reconstrucción de la nariz, cuya técnica fue mantenida en secreto por una familia de cirujanos prácticos italianos y que sería publicada en 1601 por el cirujano italiano Gaspare Tagliacozzi (1545-1599).

Se pueden observar dos corrientes en cirugía. Una corriente práctica mantenía el secreto de sus técnicas dentro de la lógica de funcionamiento de los gremios artesanales medievales o de artesanos sin agremiación. Otra corriente, tanto práctica como teórica relacionada con las universidades, preocupada por la publicación y circulación del conocimiento médico-quirúrgico, sin dejar de tener orígenes medievales también, resultó dominante y es la que prevalece en la actual práctica médica.

En el siglo XVIII, el cirujano inglés William Cheselden (1688-1752) desarrolló su famosa cirugía de litotomía e iridectomía, que permitió crear una pupila artificial (otras cirugías oftalmológicas, como la de cataratas, se practicaban al menos desde la Edad Media). John Hunter (1728-1793), padre de la cirugía científica moderna, fue su discípulo, cirujano general al servicio del rey Jorge III y formador, a su vez, de otros cirujanos. Robert Liston (1794-1847), en 1846, en su libro *Lectures on the operations of surgery and on diseases and accidents requiring operations* escribió: "Uno no puede reseca la glándula tiroides de un paciente en buen estado sin poner en riesgo al paciente de muerte por hemorragia. Es un procedimiento que no debe ser considerado". Dejaba en claro cuál era la situación que se vivía en ese momento con respecto a este tipo de procedimientos.

En la Francia de la Ilustración nació la especialidad de cirujano dentista (cirugía maxilofacial y odontología), cuyo fundador teórico fue Pierre Fauchard (1678-1761), quien separó esa especialidad de la rama general de la cirugía. El mayor aporte de los cirujanos franceses se produjo a partir de la Revolución y durante las guerras napoleónicas. Se destacó particularmente Dominique-Jean Larrey (1766-1842), inventor del sistema de hospitales militares móviles, cercanos al campo de batalla, y a quien se le atribuye también la creación del triaje y de técnicas nuevas de amputación.

A partir del siglo XVIII, el estatus del cirujano crece y se distingue de barberos, cirujanos empíricos

y otros artesanos. Se produce, como principal innovación, la profesionalización y especialización de la actividad, lo cual los separa también de otras formas de terapéutica. Surgen las especialidades quirúrgicas, y una de las caras más visibles que tuvo el proceso de especialización durante ese siglo, pero sobre todo durante el XIX, fue la aparición de sociedades científicas dedicadas a congregar a los cirujanos. En 1731, bajo Luis XV, se forma la *Académie Royale de Chirurgie*. En 1745, los cirujanos se separan de los barberos y forman la *Company of Surgeons*, que en 1800 se convertirá en el *Royal College of Surgeons*. A estos fenómenos históricos debemos sumar la aparición de publicaciones científicas generales primero (desde fines del siglo XVII) y especializadas después (siglos XVIII y XIX). Este tipo de publicaciones fue y es fundamental para la difusión de las innovaciones en técnicas y prácticas quirúrgicas. El siglo XVIII fue el siglo de la Ilustración y su obra cumbre fue la Enciclopedia, en la cual el estado del arte de la cirugía de la época no se encuentra ausente.

En el siglo XVIII, de la mano de anatomistas y cirujanos de la Europa moderna, entre ellos John Hunter, la cirugía pasó a ocupar un lugar de mayor trascendencia, considerada dentro de las ciencias, lo cual favoreció continuos avances en la disciplina.

### Edad Contemporánea

El gran salto hacia adelante en la historia de la cirugía se daría durante el siglo XIX a través de dos grandes innovaciones: la invención de la anestesia y de la asepsia.

Hay muchos antecedentes de la anestesia, como la ingesta de alcohol o de opio para amortiguar el dolor de la cirugía, los intentos con el óxido nitroso llevados a cabo por químicos y algunos odontólogos a fines del siglo XVIII y en la primera mitad del XIX, pero los efectos anestésicos de estos productos, en general, fueron tratados como curiosidades.

Fue en 1846 cuando, basado en experimentos de la época, el norteamericano Henry Bigelow (1818-1890) publicó su experiencia con el uso de éter, y se suelen mencionar ese año y esa publicación como el momento del nacimiento de la anestesia moderna. En 1847, el escocés James Young Simpson (1811-1870) introdujo el cloroformo como anestésico, lo cual permitió cirugías más largas y mucho más complejas.

Podemos citar numerosos precursores de la antisepsia y la asepsia, otro gran avance para la cirugía del siglo XIX, pero se considera que el inventor de estas dos técnicas fue el cirujano británico Joseph Lister (1827-1912), quien sospechó que las bacterias causaban las infecciones y aplicó ácido carbólico en las fracturas abiertas. En 1877, el cirujano alemán báltico Ernst von Bergmann (1836-1907) introdujo la asepsia de la zona para operar.



Los avances posteriores al desarrollo de la anestesia y la dupla antisepsia/asepsia permitieron un salto cuantitativo y cualitativo inmenso en la cirugía. Las nuevas intervenciones exitosas que se comenzaron a realizar entre fines del siglo XIX y principios del siglo XX fueron innumerables. Podemos nombrar algunas a manera de ejemplo.

En 1851, el médico y físico alemán Hermann von Helmholtz (1821-1894) inventó el oftalmoscopio, el cual permitió mejoras en las operaciones oftalmológicas.

En 1896, el cirujano alemán Ludwig Rehn (1849-1930) realizó la primera cirugía cardíaca al cerrar una herida de apuñalamiento en un corazón.

En 1890, el cirujano norteamericano William Halsted (1852-1922) realizó una mastectomía radical con la cual buscó remover no solo el pecho canceroso sino también todos los lugares posibles de recurrencia (las mastectomías ya se realizaban incluso antes de la invención de la anestesia).

En 1902, el cirujano británico Sir Frederick Treves (1853-1923) operó de apendicitis a Eduardo VII, futuro rey de Inglaterra, salvó su vida y, aunque no inventó la cirugía de apendicitis, contribuyó notablemente a su difusión.

En 1909, el médico suizo Emile Teodoro Kocher (1841-1917) ganó el Premio Nobel por sus operaciones y trabajos sobre la tiroides.

En 1912, fue otorgado el Premio Nobel al biólogo y médico Marie Joseph Auguste Carrel-Billiard (1873-1944), más conocido como Alexis Carrel por su técnica de anastomosis vascular.

Las guerras del siglo XX tuvieron un gran impacto en el desarrollo de la cirugía. La Primera Guerra Mundial (1914-1918) llevó al desarrollo de nuevas técnicas en cirugía plástica. En esa guerra, las heridas en el rostro fueron muy habituales puesto que se combatió principalmente desde trincheras y la única parte del cuerpo expuesta eran cabeza y rostro. En 1914, cuando se iniciaba la Primera Guerra Mundial, el Dr. Luis Agote (1868-1954), médico, investigador y político argentino, descubrió el método del citratado para hacer incoagulable la sangre y realizó la primera transfusión de sangre exitosa en la Argentina. Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), la transfusión de sangre de convirtió en una práctica normal y permitió salvar vidas de heridos en los campos de batalla. Las lesiones de columna vertebral, sufridas especialmente por aviadores, también recibirían una especial atención, actividad en la que se destacó el neurocirujano judío escapado de Alemania Ludwig Guttmann (1899-1980).

Poco después de la guerra, en 1952, el cirujano estadounidense Walton Lillehei (1918-1999) realizó la primera reparación quirúrgica de un defecto congénito a corazón abierto, usó hipotermia mientras el corazón estaba detenido. Sin embargo, la hipotermia le proporcionó una corta ventana de hasta 10 minutos. Para resolverlo, utilizó circulación cruzada, en la cual un

donante era conectado para tomar las funciones de bombeo y oxigenación del paciente mientras era operado. Con esta técnica, se realizó la reparación exitosa de un defecto del septo ventricular en 1954.

Entre los innumerables avances logrados durante el resto del siglo XX merecen nombrarse las técnicas de trasplante que se iniciaron en 1954, cuando el cirujano estadounidense Joseph E. Murray (1919-2012) realizó el primer trasplante de riñón. En 1967 se produjo el primer trasplante exitoso de corazón, realizado por el sudafricano Christian Barnard (1922-2001). Estos trabajos pioneros abrieron la ruta a la 'normalización' de las intervenciones de este tipo de distintos órganos y tejidos.

También durante el siglo XX se producen grandes innovaciones en los estudios complementarios, que impactaron directamente en el desarrollo de la cirugía. El diagnóstico por imágenes nace en 1895 con el descubrimiento de los Rayos X por el ingeniero mecánico y físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). En 1940, el físico acústico Floyd Alburn Firestone (1898-1986), mientras era profesor en la Universidad de Michigan, creó el primer generador de imágenes de ultrasonido que se aplicó al cuerpo humano con propósitos médicos en los Estados Unidos. La ecografía se irá perfeccionando durante las décadas de 1950 y 1960 por los trabajos de numerosos técnicos en diversos países. Pero el uso de la ecografía se hará habitual recién a partir de la década de 1970. A fines de la década de 1960 y principios de la de 1970, la tomografía computarizada fue el producto del trabajo de dos ingenieros electrónicos: el sudafricano-estadounidense Allan McLeod Cormack (1924-1998), quien además era físico y cristalógrafo, y el inglés Godfrey Newbold Hounsfield (1919-2004), por lo que ambos recibieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1979. Los primeros ensayos clínicos de esta invención se habían realizado en 1972.

### Un poco de historia de la Cirugía en la Argentina

Son innumerables las personalidades para nombrar en la historia de la Medicina Argentina y, aunque centraremos el recorrido histórico en cirujanos argentinos quienes se destacaron por introducir innovaciones, no podemos dejar de nombrar a figuras como el médico y farmacéutico Dr. Bernardo Houssay (1887-1971), galardonado en 1947 con el Premio Nobel de Medicina por sus estudios en fisiología sobre el papel de la hipófisis en la regulación de la glucemia; el médico, bioquímico y farmacéutico Dr. Luis Federico Leloir (1906-1987), quien recibió el premio Nobel de Química en 1970 por su investigación sobre los nucleótidos de azúcar y el papel que cumplen en la fabricación de los hidratos de carbono, aporte que sirvió para entender la enfermedad congénita galactosemia, y el químico Dr.

César Milstein (1927-2002), quien recibió el Premio Nobel de Medicina en 1984 por el desarrollo de la llamada técnica de hibridoma para producir anticuerpos monoclonales, los cuales pueden dirigirse contra un blanco específico y tienen por lo tanto una enorme diversidad de aplicaciones en diagnósticos, tratamientos oncológicos, en la producción de vacunas y en campos de la industria y la biotecnología.

En la Argentina, los inicios de la práctica médica profesional se deben remitir al famoso y siempre citado Protomedicato, fundado en 1780, como parte de las llamadas reformas borbónicas en el Río de la Plata. Sin embargo, la entrada de la Argentina en la historia de la cirugía moderna se produce a partir de 1872, cuando el Dr. Ignacio Pirovano (1844-1895), el cirujano más renombrado e influyente de su generación en el país y distinguido por su tratamiento de las hernias, parte hacia Europa con una beca del gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Tras tres años de estudios, regresó a Buenos Aires graduado como Doctor de la Facultad de Medicina de París y realizó numerosas actividades médicas, científicas y una notable mejora en los estudios anatómicos. Probablemente la innovación más importante de Pirovano fue el perfeccionamiento de la práctica del método antiséptico de Lister, anteriormente ensayado por Manuel Montes de Oca (1831-1882).

El Dr. Enrique Finochietto (1881-1948), a su retorno de Francia luego de la Primera Guerra Mundial, en la cual participó de la atención de los heridos de guerra franceses, fue nombrado Jefe de Cirugía del Hospital Rawson, cargo que rechazó para diseñar su propio pabellón quirúrgico, el Pabellón IX del Rawson donde puso en funcionamiento la escuela de cirugía. En 1922 realizó la tercera toracoplastia en la Argentina y la primera "incisión paradójica", técnica de desarrollo propio. En 1929 operó, por primera vez en el país, un taponamiento cardíaco. Fue el inventor del *frontolux*, el porta-agujas, la pinza doble utilidad, el aspirador quirúrgico, las valvas de Finochietto, el banco para cirujanos, el separador intercostal de cremallera (separador de Finochietto), entre otros instrumentos.

El Dr. José Arce (1881-1968), cirujano argentino, se destacó por organizar la primera escuela de especialistas en anestesia en 1921 (aparentemente las primeras intervenciones con anestesia en la Argentina se habrían realizado en Buenos Aires hacia fines de la década de 1840, pero son discutidos la fecha y lugar exactos) y por inaugurar el Instituto de Clínica Quirúrgica en el Hospital de Clínicas de la Universidad de Buenos Aires en 1923.

El primer trasplante en la Argentina fue un trasplante de córneas realizado en 1928 por el Dr. Antonio Manes en el Hospital Rawson. En lo que respecta a la cirugía hepato-bilio-pancreática, es menester destacar al cirujano cordobés Juan Pablo Mirizzi quien en 1931 realizó una inyección de contraste liposoluble —lipidol— en el colédoco de una paciente con un síndrome

colestásico. Esta técnica fue presentada en el III Congreso Argentino de Cirugía y fue conocida mundialmente como colangiografía intraoperatoria. La fuente de inspiración para Mirizzi fue el recurso utilizado en 1921 por Carnot y Blamoutier, mediante el cual se inyectaba una mezcla baritada en el posoperatorio a través de una fístula biliar externa, demostrando las características de la vía biliar. En 1957, el Dr. Alfredo Lanari (1910-1985) realizó el primer trasplante de riñón en el país y en 1968 el Dr. Miguel Bellizzi (1926-1991) realizó el primer trasplante de corazón.

El cirujano argentino más popular de los últimos tiempos probablemente sea el Dr. René Favalaro (1923-2000), reconocido mundialmente por haber desarrollado el *bypass* coronario con empleo de la vena safena magna y haber colocado el puente aorto-coronario en un nivel superior a todo lo conocido hasta entonces. En 1970, el Dr. Luis De la Fuente (nació en 1932), cardiólogo intervencionista, fue el primero en explicar las causas del infarto de miocardio al documentar en vivo, mediante cateterismo coronario, que es el trombo agregado a la placa de colesterol lo que provoca el infarto de miocardio. Junto a Favalaro, De la Fuente postuló que la enfermedad cardiovascular no era localizada sino panvascular y compromete más de un segmento (coronarias y carótidas, por ejemplo). En la línea de la cirugía vascular encontramos también a Juan Carlos Parodi (nació en 1942), quien en 1990 realizaría la primera reparación de un aneurisma de aorta abdominal con la colocación de una prótesis (*stent*). Utilizó solo anestesia local en el sitio de acceso por la ingle. Controvertido para su momento, él mismo argumentó que a los modelos, y más aún a los paradigmas, hay que admirarlos, pero sin deponer jamás el pensamiento crítico.

### Hacia una cirugía moderna

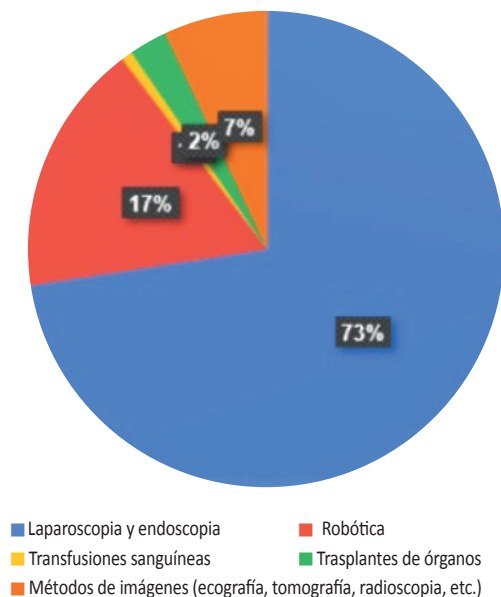
El advenimiento de avances tecnológicos permitió el desarrollo de la técnica quirúrgica moderna. A modo esquemático, los principales avances se relacionaron con:

- La anestesia
- La asepsia y la antisepsia
- La hemostasia
- La transfusión sanguínea
- La endoscopia, laparoscopia y cirugía laparoscópica
- La robótica

En una encuesta realizada a 324 miembros de la Asociación Argentina de Cirugía (AAC) sobre cuál de estos avances tecnológicos quirúrgicos consideraron más trascendentales, se pudo observar que —en nuestra sociedad y con un gran porcentaje sobre las demás— la laparoscopia fue la tecnología más importante en los últimos tiempos (Fig. 2). A continuación se explayarán en detalle estos avances.

■ FIGURA 2

### 1 - ¿Qué avances tecnológicos quirúrgicos considera más trascendentes en los últimos años?



Trascendencia de las tecnologías quirúrgicas según las respuestas de los miembros de la AAC

### La anestesia

En 1776, el científico y teólogo británico Joseph Priestley (1733-1804) descubrió el óxido nítrico y, en 1799, el químico británico Humphry Davy (1778-1829) afirmó que este gas tenía la capacidad de suprimir el dolor y sugirió su uso en intervenciones quirúrgicas.

En 1818, el científico británico Michael Faraday (1791-1867) escribió un trabajo sobre los efectos depresores del éter y, en 1824, el médico cirujano británico Henry Hill Hickman (1800-1830) hizo varias operaciones en animales, utilizando dióxido de carbono.

En 1842, Crawford W. Long (1815-1878) de Jefferson, Georgia, administró éter a un amigo mientras le quitaba un quiste sebáceo del cuello y el paciente no tuvo dolor, pero desgraciadamente Long nunca publicó sus experimentos.

Horace Wells (1815-1848) comenzó a utilizar el óxido nítrico como anestesia para procedimientos odontológicos, pero no pudo demostrar su uso exitoso en procedimientos quirúrgicos.

En 1846, William Morton (1819-1868) introdujo y patentó el éter en la anestesia; realizó en Harvard el primer procedimiento quirúrgico bajo anestesia sobre un paciente del Dr. Warren sin ninguna manifestación de dolor o irregularidad respiratoria, y esto le quitó importancia a Wells y el óxido nítrico.

En 1847, James Young Simpson (1811-1870), profesor de obstetricia de la Universidad de Edimburgo introdujo por primera vez la anestesia clorofórmica, como método sistemático para producir adormecimiento e insensibilidad al dolor en las operaciones quirúrgicas o durante el parto. Los efectos de este tipo de anestesia y las muertes que se le asociaron trajeron como consecuencia el uso continuado del éter.

En 1876, el médico anestesista inglés Joseph Clover (1825-1882) inventó un inhalador especial para éter. El aparato era eficaz para dormir a un paciente en diez a veinte minutos y su empleo se extendió rápidamente en Inglaterra. Consistía en una pequeña cámara esférica de metal atravesada por dos tubos. Al hacer girar la esfera, se abrían ventanas interiores que hacían pasar el aire respirado por el paciente sobre el éter. El defecto que tenía era que no permitía la renovación del aire respirado, por lo cual había que levantar reiteradamente la máscara procurando no despertar demasiado al paciente.

Fue el médico cirujano de París Louis Ombredanne (1871-1956) quien ensayó diversos modelos experimentales y finalmente introdujo, en 1908, su inhalador para vaporizar éter en el cual, a través de una pieza en T, se podía agregar oxígeno a la mezcla gaseosa, un aparato original conocido como el aparato de Ombredanne.

Entre 1900 y 1905, el cirujano alemán Franz Kuhn (1866-1929) inventó una cánula endotraqueal y aplicó muchos de los principios de administración de anestésicos generales por sondas endotraqueales, que aún se utilizan.

Aunque en 1874 Pierre-Cyprien Oré (1828-1889) administró hidrato de cloral por vía intravenosa con una pluma de ave en Burdeos –Francia–, la anestesia intravenosa se generalizó en 1902 con la síntesis del barbitol o veronal por el químico alemán Hermann Emil Fischer (1852-1919), por lo cual recibió el Premio Nobel de Química.

Si bien no se puede dejar de lado la anestesia por frío, procedimiento que se utilizaba desde las guerras napoleónicas, la anestesia local vino de la mano del médico oftalmólogo austríaco Carl Koller (1857-1944) con el uso de la cocaína en 1884. En 1898, el cirujano alemán Karl August Bier (1861-1949) realizó la primera anestesia raquídea al inyectar cocaína en el canal vertebral. Esto fue posible gracias a los antecedentes publicados por Tomas Moreno y Maiz de Perú, quien en 1868 dio a conocer en Francia una tesis titulada *Recherches Chimiques et Physiologiques sur l'Érythroxyton coca du Pérou et la cocaine*, donde describe los efectos anestésicos locales de la cocaína con su experimentación sobre nervios periféricos de animales, y de William Steward Halsted (1852-1922) por la implementación del uso de cocaína como anestésico local en seres humanos.

## La asepsia y la antisepsia

La antisepsia, que fue la primera en llegar, tiene como antecedentes al cirujano escocés Robert Liston (1794-1847), quien comenzó a hablar del tratamiento cuidadoso de las heridas posoperatorias.

En el año 1773, el médico inglés Charles White (1728-1813) ya había implementado técnicas antisépticas en el útero, y una adecuada limpieza y ventilación de la habitación de las parturientas.

En 1795, el obstetra escocés Alexander Gordon (1752-1799), conocido por demostrar la naturaleza contagiosa de la sepsis puerperal, aconsejaba a médicos y enfermeras el lavado de manos luego de asistir a sus pacientes y la “fumigación” de sus instrumentos.

El médico estadounidense Oliver Wendell Holmes (1809-1894) fue desestimado por sus pares, tras recomendar abiertamente técnicas de desinfección en la Sociedad de Boston para el progreso de la Medicina.

Ignaz Philipp Semmelweis (1818-1865) fue un médico cirujano y obstetra, el primero en estudiar la eficacia de lavarse las manos con una solución antiséptica. Mientras trabajaba en el Hospital General de Viena observó que, en los pabellones de maternidad donde los estudiantes de medicina hacían los exámenes vaginales y asistían partos luego de trabajar en las salas de disecciones, la mortalidad por sepsis puerperal era cuatro veces mayor que en el pabellón atendido solo por parteras. Cuando uno de los ayudantes se cortó la mano en la sala de disección y murió poco después con síntomas de sepsis puerperal, Semmelweis quedó convencido de que la sepsis derivaba de la falta de limpieza. En 1847 introdujo el agua clorada en el pabellón donde trabajan los estudiantes, insistió en que se lavaran bien las manos en esta solución antes de cualquier examen o de asistir un parto y la frecuencia de la sepsis puerperal bajó notablemente. Como su descubrimiento no fue aceptado hasta años después, recapacitó mucho sobre él y, tras publicar en 1861 su obra sobre la naturaleza de la sepsis puerperal, sufrió una enfermedad psicológica que lo llevó a su internación en un manicomio, donde murió a los 47 años por una herida infectada en su mano.

Bajo la enorme influencia de lo escrito sobre la fermentación y la putrefacción por el químico francés Louis Pasteur (1822-1895), Joseph Lister (1827-1912) comenzó sus investigaciones sobre antisepsia en 1865 en la enfermería de Glasgow, tras percatarse de que el 45% de los pacientes que habían recibido algún procedimiento quirúrgico morían, más allá de haber utilizado todas las medidas preventivas conocidas hasta ese entonces. Observó que las fracturas cerradas curaban bien, pero las abiertas originaban sepsis y requerían amputación. También advirtió que, si la herida cicatriza sin supurar, el paciente sanaba en poco tiempo. Se convenció de que el pus era causado por infección y, si podía evitarse, el paciente se curaría fácilmente y

sin complicaciones. Como las superficies cruentas no podían esterilizarse por medio del calor, buscó otras formas. Supo que, en la ciudad de Carlisle, en las alcantarillas que fueron tratadas con ácido fénico, también llamado ácido carbólico, no se produjeron fenómenos de putrefacción, y probó el valor del ácido fénico en distintas proporciones como desinfectante para combatir los gérmenes que hubieran invadido el campo operatorio, usó varios vendajes empapados en soluciones diluidas de ácido fénico. Asimismo, como estaba seguro de que las bacterias que estaban en el aire también contaminaban las heridas, antes de cada operación, nebulizaba la sala de operaciones con solución de ácido fénico. El tratamiento de su primer paciente con una fractura abierta no tuvo éxito, pero el del segundo dio por resultado la curación por primera intención. Durante dos años acumuló una cantidad creciente de operaciones con éxito, y en 1867 publicó dos escritos revolucionarios en el *Lancet* de Londres, titulados: “Sobre un nuevo método de tratar fracturas abiertas, abscesos, etc., con observaciones sobre la naturaleza de la supuración” y “Sobre el principio antiséptico en la práctica de la cirugía”. En estas publicaciones mostró de modo convincente la asombrosa mejoría en la cicatrización de las heridas que se obtenía con técnicas antisépticas. En 1906, Lister dijo: “Sin Semmelweis, mis resultados hubieran sido nulos. Es a este gran hijo de Hungría a quien la cirugía le debe más”.

Aunque parezca extraño, las ideas de Lister no lograron la aceptación inmediata de los cirujanos británicos; algunos médicos como Lawson Tait (1845-1899), quien hizo hincapié en la asepsia en el tratamiento de las heridas, e insistía mucho en el lavado de las manos antes de operar y fue pionero en cirugía pélvico-abdominal por introducir técnicas quirúrgicas para reducir la mortalidad, ridiculizó la “moda del Listerismo”.

Recién en 1868, Lucas Championnière (1843-1913), en Francia, habría seguido las prácticas preconizadas por Lister y la nueva doctrina era aceptada por Johann Nepomuk Ritter von Nussbaum (1829-1890), en Alemania.

Richard von Volkman (1830-1889), el famoso cirujano alemán, había logrado en Halle disminuir en forma drástica la mortalidad por las fiebres traumáticas aplicando el mismo método que Lister, lo cual lo llevó incluso a romper con su colega Theodor Billroth (1829-1894), famoso por su destreza quirúrgica, pero que rehusaba oír hablar de limpieza y antisepsia. Cabe destacar que Billroth fue, junto con Emil Theodor Kocher (1841-1917), uno de los pioneros en la técnica de la tiroidectomía.

En 1880, el cirujano alemán Victor Von Bruns (1812-1883), líder en cirugía plástica y reparadora, desechó el uso de gasas con riego fenólico de Lister y popularizó el uso de apósitos absorbentes de algodón, práctica estándar en el tratamiento antiséptico moderno de heridas.



La asepsia llega de la mano del médico y microbiólogo alemán Robert Koch (1843-1910), padre de la bacteriología quien, en 1881, promovió la esterilización de los instrumentos quirúrgicos mediante el calor. Koch descubrió el bacilo de la tuberculosis en 1882, así como el bacilo del cólera en 1883. Posiblemente tan importantes como su trabajo sobre la tuberculosis por el que fue galardonado con el Premio Nobel en 1905 son los postulados de Koch que establecen las condiciones para que un organismo sea considerado la causa de una enfermedad. En 1877, en su monografía sobre la causa de la infección de las heridas, diferenciaba los distintos microorganismos, sus características especiales y sus cuadros clínicos.

Ernst von Bergmann (1836-1907) creó en 1886 el método de esterilización por vapor, mediante la adaptación del sistema utilizado por Denis Papin (1647-c. 1712) en su "marmita" (olla a presión).

Los guantes quirúrgicos de goma estériles fueron inventados en 1890 por el cirujano estadounidense William Halsted (1852-1922), fundador de la Escuela de Medicina Johns Hopkins. Halsted aportaría, además, el uso de pinzas hemostáticas de punta fina y la técnica de la seda para reparar las heridas brindando este gran aporte sobre el tratamiento hemostático, evitando hemorragias intraoperatorias y tardías.

En 1897, el bacteriólogo e higienista alemán Carl Georg Friedrich Wilhelm Flügge (1847-1923) demostró que se expulsan gotitas al aire, al toser o estornudar y también al hablar. Esto motivó al médico cirujano polaco Johann Von Mikulicz-Radecki (1850-1905) a promocionar el uso de mascarillas de gasa para el equipo quirúrgico y así prevenir muertes por infecciones posoperatorias.

### **La hemostasia**

Si bien en el siglo XI, el cirujano Rogelio de Salerno mencionaba la ligadura de los vasos sangrantes como un método superior y menos cruento que la cauterización, se ha atribuido a Ambrosio Paré (1510-1592) el haber sido el primer médico europeo que utilizara en forma habitual esta técnica para lograr el control de las hemorragias. Sin embargo, varios historiadores aseguran que el cirujano español Dionisio Daza Chacón (1510-1596) lo había empleado anteriormente.

Johannes Friedrich August von Eschmarch (1823-1908) de la Universidad de Kiel, gran cirujano militar, diseñó una venda triangular de lino o de algodón que se podía utilizar de 32 diferentes maneras e insistió en que cada soldado la llevara consigo como utensilio de primeros auxilios en los campos de batalla. Estableció definitivamente la compresión para hemostasia

quirúrgica cuando, en 1873, inventó un aparato que lleva su nombre, el cual consistía en un vendaje de goma elástico (de caucho), de muchos dobleces, que se colocaba en la extremidad y se ajustaba rápidamente por medio de una cadena hasta que el sangrado cesaba. Se utilizaba durante las amputaciones para que la extremidad sangrara menos y esto hacía el procedimiento más fácil y rápido.

Aunque en la historia de la cirugía moderna la paternidad de las pinzas hemostáticas se le otorga al médico inglés Thomas Spencer Wells (1818-1897), uno de los pioneros en la cirugía abdominal, no se sabe con certeza quién las inventó y usó por primera vez por los años 1870 a 1880. Algunos de los mencionados fueron el cirujano suizo Emil Theodor Kocher (1841-1917) y Emile Jules Pean (1830-1898), de París.

### **La transfusión sanguínea**

En 1897 se produjo un hecho trascendental cuando el médico bacteriólogo y anatomopatólogo de nacionalidad austriaca Karl Landsteiner (1868-1943) dio la primera explicación científica sobre la incompatibilidad entre los diferentes tipos de sangre humana.

Más tarde, en 1901, logró determinar la presencia de elementos sanguíneos capaces de aglomerar y destruir los glóbulos, a los que llamó aglutininas, con lo cual quedaba demostrada la incompatibilidad de la sangre entre las diferentes especies e incluso entre miembros de una misma especie.

En 1914, el investigador belga Albert Hustin (1882-1967) propuso el citrato de sodio como anticoagulante, con lo cual dio solución al engorroso problema de la coagulación.

La primera transfusión realizada con una dosificación bien calculada de citrato de sodio, independientemente de los trabajos de Hustin, fue realizada en la Argentina, en 1914, por el médico Luis Agote (1868-1954), quien realizó sobre sí mismo los ensayos para este tipo de procedimientos antes de aplicarlo en otro paciente. El método no fue patentado y se colocó al servicio de los combatientes de la Primera Guerra Mundial donde fue posteriormente popularizado por el médico militar canadiense Oswald Robertson (1886-1966).

### **La endoscopia, laparoscopia y cirugía laparoscópica**

Aunque las ideas que dan marco para el desarrollo de la cirugía laparoscópica se informaron hace más de un siglo, la introducción de la técnica en el campo de la cirugía general ha sido un desarrollo relativamente reciente.

La cirugía laparoscópica debe gran parte de su historia al desarrollo de la técnica endoscópica. Entre los primeros médicos en desarrollar métodos para examinar los orificios corporales se encuentra el andalusí Albucasis o Abulcasis (ca. 936-1013 d.C.), quien inventó diversos instrumentos quirúrgicos para la inspección del interior de la uretra y para retirar cuerpos extraños de la garganta y el oído. Más tarde, en 1805, el médico nacido en Frankfurt, Philipp Bozzini (1773-1809), con su instrumento “conductor lumínico” pensado para estudiar vejiga, recto, vagina y cavidad peritoneal a través de pequeñas laparotomías.

El primer endoscopio eficaz de tubo abierto que se utilizó para examinar la uretra y la vejiga fue desarrollado en 1853 por el francés Antonin Jean Desormeaux (1815-1894), quien introdujo el término endoscopia.

A finales del siglo XIX, otros médicos, incluidos Adolf Kussmaul (1822-1902) y Maximilian Nitze (1848-1906), perfeccionaron los modelos endoscópicos originales y comenzaron a utilizar sus nuevas herramientas en la práctica médica.

La laparoscopia o el examen endoscópico de la cavidad peritoneal fue realizado por primera vez en 1901 por George Kelling (1866-1945), médico internista y cirujano alemán, quien llamó al procedimiento “celioscopia”.

A principios de la década de 1930 se publicaron los primeros informes de intervenciones laparoscópicas con fines no diagnósticos. Los procedimientos iniciales incluyeron la lisis de adherencias abdominales y biopsias diagnósticas bajo visión directa de órganos abdominales. A lo largo de las décadas de 1960 y 1970, la laparoscopia se convirtió en una parte vital de la práctica ginecológica.

En 1985, el argentino Aldo Kleiman presenta el proyecto sobre su tesis doctoral titulada *Colecistectomía por Laparoscopia Mínima (15 mm): Diseño de una nueva técnica y estudio experimental en animales* a la cual no se le dio lugar por lo que parecía algo disparatado. Pero es así como, casi en simultáneo, el alemán Erich Mühe realizó la primera colecistectomía laparoscópica en el mundo.

A pesar de estos avances tecnológicos, no fue hasta después de 1987, tras el desarrollo de un chip de ordenador de video que permitió la ampliación y proyección de imágenes en pantallas de televisión, que las técnicas de cirugía laparoscópica realmente se integraron en la disciplina de la cirugía general, permitiendo la realización de la primera colecistectomía videolaparoscópica en 1987 por el médico francés Philippe Mouret (1938-2008).

La rápida aceptación de la técnica de cirugía

laparoscópica por parte de la población general no tiene parangón en la historia quirúrgica. Ha cambiado el campo de la cirugía general de forma drástica y más rápida que cualquier otro hito quirúrgico.

### La robótica

La idea de reproducirse a sí mismo con el uso de una estructura de robot mecánico ha estado en la imaginación del hombre en los últimos 3000 años. Sin embargo, el uso de robots en medicina tiene menos de 40 años de historia. La aplicación de robots en cirugía se origina en la necesidad del hombre moderno de lograr dos objetivos: la telepresencia y la realización de tareas repetitivas y precisas. El primer “cirujano robot” utilizado en un paciente humano fue el PUMA 200 en 1985 (Fig. 3).

En la década de 1990, los científicos desarrollaron el concepto de robot “maestro-esclavo”, que consistía en un robot con manipulación remota controlado por un cirujano en una estación de trabajo quirúrgica. A pesar de la falta de fuerza y retroalimentación táctil, las ventajas técnicas de la cirugía robótica, como visión 3D, imagen estable y ampliada, instrumentos, el filtrado de temblores y la escala de movimiento se han considerado fundamentales para superar muchas de las limitaciones de la cirugía laparoscópica.

Desde la aprobación del robot *Da Vinci* por organismos internacionales, norteamericanos, europeos y asiáticos, se ha demostrado su factibilidad y seguridad para la realización de distintos tipos de cirugías asistidas por robots. Diversos estudios comparativos de procedimientos quirúrgicos robóticos y laparoscópicos en cirugía general han mostrado resultados similares con respecto a los resultados perioperatorios, oncológicos y funcionales. Sin embargo, los costos más altos y la falta de retroalimentación háptica representan las principales limitaciones de la tecnología robótica actual para convertirse en la técnica estándar de la cirugía mínimamente invasiva en todo el mundo.

El futuro de la cirugía robótica parece estar relacionado con la reducción de costos, el desarrollo de nuevas plataformas y tecnologías, la creación y validación de currículos y simuladores virtuales y la realización de ensayos clínicos aleatorizados para determinar sus mejores aplicaciones.

Cabe destacar que la primera cirugía robótica en la Argentina y en Latinoamérica fue realizado en el Hospital de Clínicas de la Universidad de Buenos Aires en el año 2005 por un equipo de cirujanos argentinos (Fig. 4).



■ FIGURA 3



Máquina de ensamblaje universal programable (PUMA), primer sistema endoscópico autónomo (AESOP)

■ FIGURA 4

## INFOBAE

## Se hizo con éxito la primera cirugía robótica en el país

Tuvo lugar el domingo por la tarde, en el Hospital de Clínicas, donde se intervino a un hombre de 34 años. La operación fue encabezada por un médico argentino que había estado radicado en los Estados Unidos

21 de Noviembre de 2005

Primera cirugía robótica en la Argentina y Latinoamérica. En 2005, tratamiento de acalasia por el equipo de Santiago Horgan, Fernando Elli y Miguel Caracoche.



## SALUD : FUE UN MEDICO ARGENTINO QUE OPERO EL ROBOT DA VINCI

### Realizaron en el país la primera cirugía robótica de Latinoamérica

El paciente padecía acalasia, enfermedad que se manifiesta como la dificultad para tragar alimentos. El órgano a operar fue el esófago. Fue transmitida en directo en el 76º Congreso Argentino de Cirugía.

## Procesos de innovación

El desarrollo evolutivo de las sociedades, junto al advenimiento de los avances científicos en el área de medicina, trajo aparejado un crecimiento de los controles y regulaciones relacionados con las tecnologías. A su vez, los mapas conceptuales biotecnológicos también fueron partícipes de los cambios de la ciencia moderna, al mismo tiempo que la concepción profesional se sumergía en el debate de la adquisición de los nuevos productos quirúrgicos desarrollados. En este sentido, el concepto de innovación en medicina fue mutando con la incorporación de herramientas cada vez más exactas, menos invasivas y más autónomas. Como en toda proyección, la incertidumbre representa el eslabón que no permite esclarecer el horizonte anhelado ni promete encuadrar lo novedoso en lo simple. En consecuencia, no se cuenta con una definición específica sobre qué es innovación y qué elementos podemos remarcar bajo su axioma (Tabla 1).

A lo largo de los años, el concepto de innovación fue evolucionando. Inicialmente abarcaba todos aquellos procedimientos novedosos o modificaciones significativas de técnicas estándares preestablecidas, focalizándose en el sustento tecnológico. Posteriormente, con el avance y apogeo de los derechos humanos, los enunciados fueron incorporando a la definición de innovación, el riesgo y perjuicio diferentes del estándar que pudiese ocasionar sobre la persona al tratarse de prácticas no validadas. La ampliación conceptual abrió el camino a procesos dinámicos y continuos que

implican la introducción de nuevas tecnologías, como también de nuevas capacitaciones y entrenamientos con un incremento de costos a expensas de resultados aún no descriptos. A pesar de los cambios taxativos, para los autores de este trabajo, la definición de innovación quirúrgica que más refleja su esencia sería aquella que la enmarca no solo por sus modificaciones incrementales sino por sus reformas transformadoras como una nueva intervención en evolución, cuyos efectos secundarios, seguridad, fiabilidad y complicaciones no se conocen ampliamente.

Como lo refleja el informe Belmont, toda atención innovadora que se desvíe significativamente de la norma debe investigarse formalmente con supervisión<sup>8</sup>. Es en este momento cuando los controles y regulaciones cobran un protagonismo superior a la propia innovación, donde los valores éticos, el marco legal, los recursos económicos y la accesibilidad pasan a ser piezas fundamentales en la aprobación por la sociedad. Es por ello que el camino de la innovación circula desde su nacimiento por estos puntos trascendentales.

### Ética e innovación

Se entiende por Ética el conjunto de valores, principios, creencias y normas de conducta que guían el comportamiento de un grupo específico de personas.

¿Cuándo es éticamente aceptable utilizar una innovación médica?

Toda nueva tecnología debe ser sometida a investigación antes de implementarse en la práctica médica. Realizar experimentación en seres humanos se justifica si el conocimiento no puede obtenerse por otros métodos de estudio y si proporcionará resultados que benefician a la humanidad, siempre que se respeten principios básicos a fin de satisfacer los requisitos de la moral, la ética y el derecho.

Algunas normas éticas internacionales sobre las cuales se fundamenta la práctica de la experimentación humana merecen mencionarse.

La declaración de Helsinki establece que *“aunque el objetivo principal de la investigación médica es generar nuevos conocimientos, este objetivo nunca debe tener primacía sobre los derechos y los intereses de la persona que participa en la investigación”*.

El código del tribunal internacional de Núremberg (Tabla 2) adoptado a partir 1947 presenta bases para realizar experimentos en seres humanos.

El informe Belmont de 1976 (Tabla 3) presenta principios éticos para respetar en la investigación con seres humanos.

■ TABLA 1

#### Definiciones del concepto INNOVACIÓN

“Un procedimiento novedoso, una modificación significativa de una técnica estándar, una nueva aplicación o una nueva indicación para una técnica establecida, o una combinación alternativa de una técnica establecida con otra modalidad terapéutica que fue desarrollada y probada por primera vez”

“Un procedimiento quirúrgico nuevo o modificado que difiere de la práctica local actualmente aceptada, cuyos resultados no han sido descriptos y que puede implicar un riesgo para el paciente”

“Desviaciones de las prácticas quirúrgicas estándar que son tanto no validadas como importantes”

“Cualquier cosa que se encuentre en la zona de transición entre las variaciones de la práctica y la investigación experimental”

“Un proceso dinámico y continuo que involucre la introducción de una nueva tecnología o técnica que inicia un cambio en la práctica clínica”

“Un procedimiento que incluye al menos uno de los siguientes: (i) un perfil de riesgo diferente de la práctica estándar, (ii) la necesidad de una nueva capacitación, (iii) el uso de un enfoque anatómico diferente, (iv) el potencial de mayor costo y (v) resultados que aún no han sido descriptos”

La Declaración de Helsinki se refiere a los tratamientos compasivos, a aplicar tratamientos no probados, cuando nada más funciona, para salvar vidas, restablecer la salud o aliviar el sufrimiento, de la siguiente forma: *“En el tratamiento de un paciente, cuando no existan intervenciones probadas o hayan sido ineficaces, el médico, después de buscar el consejo de un experto y con el consentimiento informado del paciente o de un representante legalmente autorizado, puede usar una intervención no probada si a juicio del médico ofrece la esperanza de salvar la vida, restablecer la salud*

*o aliviar el sufrimiento. Siempre que sea posible, esta intervención debe ser objeto de investigación diseñada para evaluar su seguridad y eficacia. En todos los casos, la nueva información debe registrarse y en su caso, ponerse a disposición del público”.*

Los documentos mencionados que orientan a la ética sobre las innovaciones son razonables, pero posiblemente insuficientes para cirugía, la cual es una versión singularmente intensa de la ética de la medicina. El respeto a la integridad física, los derechos de los pacientes quirúrgicos y la inmediatez del compromiso, valores fundamentales de competencia y responsabilidad personal del cirujano, contribuyen a esta singularidad.

Los cirujanos deben adaptar rápidamente sus prácticas diarias cuando se encuentran con un hallazgo inesperado. Algunos se esfuerzan constantemente por encontrar nuevas y mejores formas de resolver problemas en el quirófano. En estos escenarios, puede no resultar claro hasta qué punto el cirujano puede desviarse de la práctica estándar antes de que la acción se considere experimental. La innovación es necesaria y fundamental para el avance de la cirugía, de modo que los pacientes dispongan de terapias más seguras y eficaces. Sin embargo, los pacientes que hacen posibles estas innovaciones deben estar protegidos del riesgo excesivo y del ensayo-error no regulado. En un esfuerzo por proteger a los pacientes, los legisladores podrían aprobar leyes que prohíban o restrinjan la innovación quirúrgica y así se perjudica el avance de la práctica.

Jennifer Schwartz, en su artículo publicado en 2014 sobre innovación en cirugía pediátrica, propone un modelo ético para aquellas innovaciones que se encuentran en la zona gris o zona de transición entre las variaciones de la práctica estándar y las intervenciones experimentales, que bien podrían generalizarse al resto de las adquisiciones de nuevos productos, ya que revela algunos de los temas importantes que enfrentan los responsables de las innovaciones, como el consentimiento informado, los conflictos de intereses, los riesgos y la supervisión regulatoria.

Define la variación de la práctica estándar como una ligera desviación de la atención actualmente aceptada, como una nueva forma de atar una sutura, aplicar un vendaje o personalizar un plan quirúrgico para la anatomía inusual de un paciente en particular. En principio, no hay intención de publicar, pero puede resultar interesante compartirlo con la comunidad científica después. El riesgo se puede considerar lo suficientemente bajo como para proceder de acuerdo con la ética médica y quirúrgica actual, la política institucional y los códigos de ética de la sociedad profesional.

La investigación experimental implica un estudio científico cuidadosamente diseñado para alcanzar un objetivo en el cual la seguridad, la eficacia y los resultados previstos de la intervención son en gran medida desconocidos o hipotéticos. En este caso se requiere el consentimiento informado para participar en el

■ TABLA 2

## Código de Núremberg

|     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | El consentimiento voluntario del sujeto humano es absolutamente esencial                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2.  | El experimento debería ser tal que prometiera dar resultados beneficiosos para el bienestar de la sociedad, y que no pudieran ser obtenidos por otros medios de estudio                                                                                                                                                                                                 |
| 3.  | El experimento deberá diseñarse y basarse sobre los datos de la experimentación animal previa y sobre el conocimiento de la historia natural de la enfermedad y de otros problemas en estudio que puedan prometer resultados que justifiquen la realización del experimento.                                                                                            |
| 4.  | El experimento deberá llevarse a cabo de modo que evite todo sufrimiento o daño físico o mental innecesario                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 5.  | No se podrán realizar experimentos de los que haya razones a priori para creer que puedan producir la muerte o daños incapacitantes graves                                                                                                                                                                                                                              |
| 6.  | El grado de riesgo que se corre nunca podrá exceder el determinado por la importancia humanitaria del problema que el experimento pretende resolver                                                                                                                                                                                                                     |
| 7.  | Deben tomarse las medidas apropiadas y se proporcionaran los dispositivos adecuados para proteger al sujeto de las posibilidades, aun de las más remotas, de lesión, incapacidad o muerte                                                                                                                                                                               |
| 8.  | Los experimentos deberían ser realizados solo por personas calificadas científicamente                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 9.  | En el curso del experimento, el sujeto será libre de hacer terminar el experimento                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 10. | En el curso del experimento, el científico responsable debe estar dispuesto a ponerle fin en cualquier momento, si tiene razones para creer, en el ejercicio de su buena fe, de su habilidad comprobada y de su juicio clínico, que la continuación del experimento puede probablemente dar por resultado la lesión, la incapacidad o la muerte del sujeto experimental |

■ TABLA 3

## Informe Belmont

|      |                                                                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I.   | Respeto por las personas. Reconoce la autonomía y protege a quienes la tienen disminuida (vulnerables) |
| II.  | Beneficencia. No hacer daño, aumentar los beneficios y disminuir los posibles daños                    |
| III. | Justicia. Los beneficios y las responsabilidades deben ser distribuidos equitativamente                |

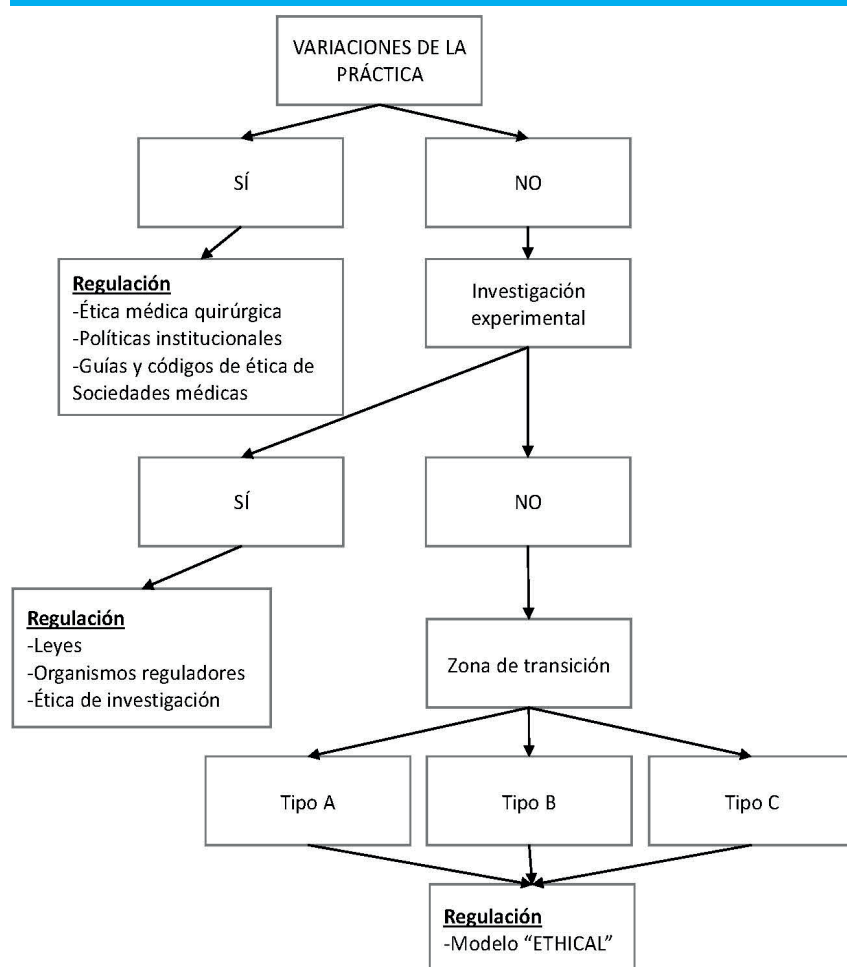
estudio además del consentimiento quirúrgico estándar, la presentación del protocolo que incluya antecedentes preclínicos, como el uso de modelos animales, al comité de revisión institucional, al comité de ética en investigación y autoridades regulatorias.

La zona de transición incluye procedimientos que implican más que una pequeña desviación del estándar de atención (pero no tan importante como lo hace la investigación experimental), destinada a beneficiar directamente a un paciente individual en lugar de a la sociedad en su conjunto, y el cirujano realiza la innovación en un paciente si se cumplen ciertos criterios, pero no repetidamente en pacientes adicionales sin supervisión. Esta categoría no estaría sujeta a las mismas regulaciones que la investigación con sujetos humanos porque se realizan como parte de la atención al paciente. Schwartz subclasifica las intervenciones de la zona de transición en: Tipo A, aquellas que surgen espontáneamente en respuesta a un problema agudo encontrado en el quiró-

fano; Tipo B, aquellas que intentan abordar una afección que pone en peligro la vida o una extremidad y actualmente no existe una terapia adecuada, y Tipo C, las que son premeditadas o planificadas, pero se realizan en beneficio de un paciente específico (Fig. 1).

Los cirujanos que cumplan con los criterios del modelo, tomando de su acrónimo en inglés, “ETHICAL” (Fig. 2), que incluye como pilares la experiencia profesional (Expertise), las habilidades técnicas (Technical skills), la evaluación de riesgos (Hazard) asociados tanto con la realización como con la no realización de la innovación sobre la base de la literatura vigente, el consentimiento informado (Informed consent), los conflictos de intereses (Conflicts of interest), evaluación de resultados con pruebas razonables de fiabilidad y eficacia (Analysis) y la publicación de la experiencia (Literature), estarían calificados para realizar innovaciones de zona de transición de tipos A y B en un paciente (primer intento conocido) en una situación aguda.

■ FIGURA 1



Regulación de la innovación quirúrgica por categorías

■ FIGURA 2

|          |                             |   |                                 |
|----------|-----------------------------|---|---------------------------------|
| <b>E</b> | <b>Expertise</b>            | → | <i>Pericia</i>                  |
| <b>T</b> | <b>Technical skills</b>     | → | <i>Habilidades técnicas</i>     |
| <b>H</b> | <b>Hazards</b>              | → | <i>Riesgos/complicaciones</i>   |
| <b>I</b> | <b>Informed consent</b>     | → | <i>Consentimiento informado</i> |
| <b>C</b> | <b>Conflict of interest</b> | → | <i>Conflicto de intereses</i>   |
| <b>A</b> | <b>Analysis</b>             | → | <i>Análisis/investigación</i>   |
| <b>L</b> | <b>Literature</b>           | → | <i>Literatura/publicaciones</i> |

Modelo ETHICAL

Las innovaciones de la zona de transición tipo C primero deberían cumplir con todos los criterios del modelo ETHICAL con respecto al cirujano individual, así como la implementación del modelo en un nivel adicional de supervisión (comité de revisión institucional, jefe de departamento o sociedad profesional) antes del primer intento en un paciente. Para los tres tipos de innovaciones de la Zona de Transición, todos los intentos subsiguientes que utilicen la misma intervención novedosa seguirían el camino de la investigación experimental. La investigación formal debe cuestionar si el nuevo proyecto es mejor que el enfoque tradicional.

Desde el punto de vista práctico, el modelo ETHICAL incluye la competencia del cirujano para realizar una intervención quirúrgica adecuada con una alta probabilidad de éxito y un bajo riesgo de complicaciones. Los estándares de consentimiento informado exigen que sea responsabilidad del cirujano asegurar que el paciente comprenda la información pertinente, necesaria para tomar una decisión acerca de si acepta avanzar con un procedimiento. La información crucial para el consentimiento informado debe incluir la naturaleza innovadora del procedimiento, la evidencia que lo respalde y la experiencia del cirujano con él.

La incorporación de innovaciones para el progreso quirúrgico plantea verdaderos desafíos. La historia de la cirugía deja en claro que no todas las ideas nuevas son eficaces. Por ejemplo, la ligadura de la arteria mamaria interna para el tratamiento de la angina y la congelación gástrica para el tratamiento de la enfermedad ulcerosa fueron enfoques innovadores que originalmente se pensaron como buenos para los pacientes. Se entendía que los supuestos beneficios de estos procedimientos eran la reducción de los síntomas subjetivos de los pacientes. Desafortunadamente, muchas cosas pueden influir en la evaluación subjetiva de los síntomas de un paciente. Con el tiempo, quedó claro que la ligadura de la arteria mamaria interna y la congelación gástrica no eran realmente eficaces para reducir los síntomas subjetivos.

En los últimos años se han propuesto una serie de procedimientos quirúrgicos innovadores que tienen poco o ningún impacto sobre la morbilidad y la mortalidad, sino que se centran principalmente en cambiar los resultados cosméticos para los pacientes. Por ejemplo, la cirugía endoscópica transluminal por orificio natural (NOTES), las técnicas quirúrgicas laparoscópicas de incisión única (SILS) y la tiroidectomía transaxilar asistida por robot son técnicas que mueven o eliminan algunas de las cicatrices asociadas con el procedimiento quirúrgico.

Asimismo, si uno pudiera superar la incertidumbre acerca de los riesgos de los procedimientos quirúrgicos innovadores, otra cuestión ética central sería la curva de aprendizaje, incluso cuando el innovador original ha ido más allá de su experiencia inicial. La “curva de aprendizaje” se refiere al aumento de los riesgos para los pacientes durante el tiempo que un cirujano y el equipo quirúrgico necesitan para sentirse cómodos con un nuevo procedimiento.

### Regulación y ética del proceso de innovación

Nos preguntamos: ¿Cómo introducimos una innovación médica quirúrgica, priorizando la ética y la legislación vigente?

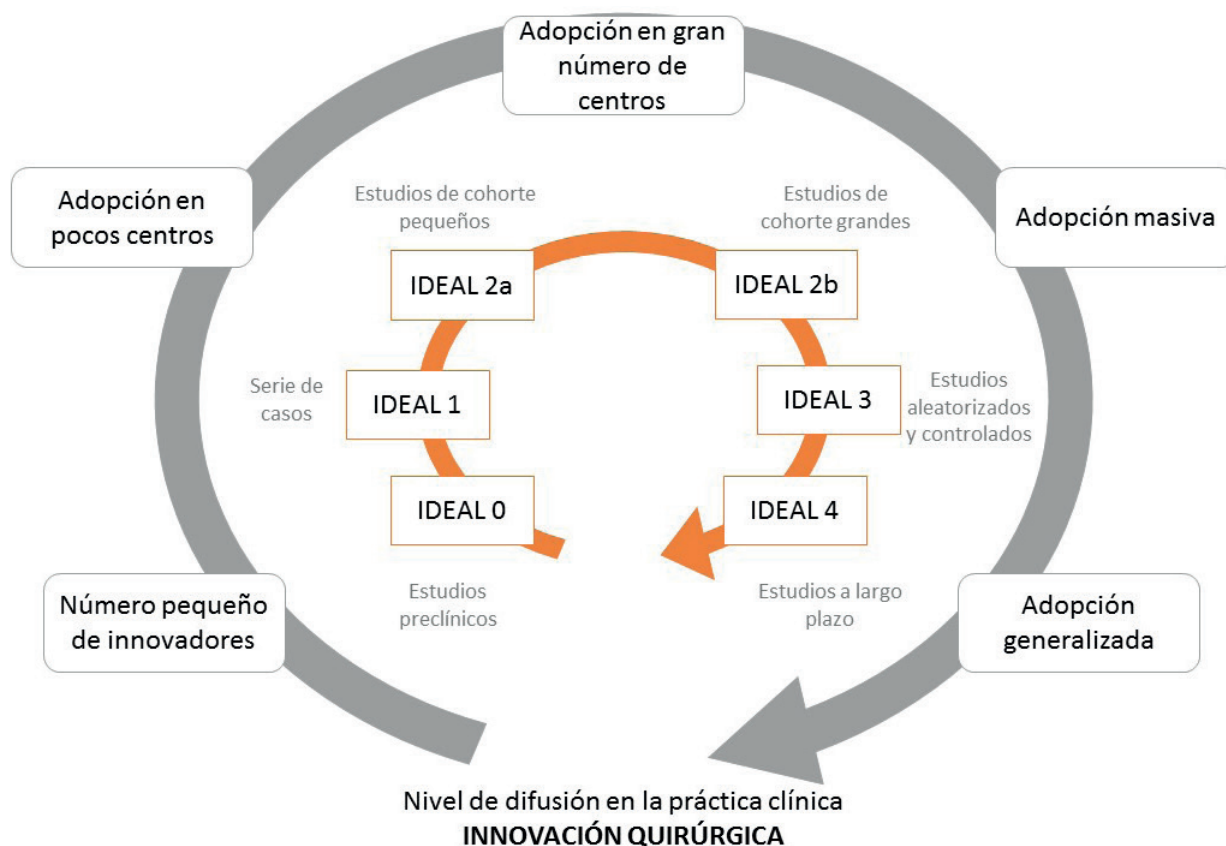
Para responder a este interrogante, inicialmente comentaremos que Tony Eyers y Yordanka Krastec de Australia, en su artículo “Ethics in Surgical Innovations from the Patient Perspective” publicado en 2020, afirman que la innovación quirúrgica suele estar ampliamente aceptada como un bien público, pero implica cierto grado de experimentación y puede poner en riesgo a los pacientes. Exponen el modelo IDEAL de etapas de la innovación, que incluye un espectro que se extiende desde la Idea original (I), el Desarrollo (D), la Exploración (E), la Evaluación (A: assessment) y el Estudio de largo plazo (L) (Fig. 3).

Estas etapas están en consonancia con La Declaración Nacional Australiana sobre conducta ética en la investigación humana que define los principios éticos que deben regir en cada etapa: mérito e integridad de la investigación, justicia, beneficencia y respeto.

Wendy Rogers y cols., en su trabajo “Ethical Issues Across the IDEAL Stages of Surgical Innovation”, publicado en 2019, alinearon los principios éticos planteados por la Declaración Nacional Australiana con el modelo IDEAL. Identificaron cuatro áreas importantes para considerar durante la innovación quirúrgica: a) minimizar el daño, b) autonomía y consentimiento, c) cuestiones de justicia y d) manejar conflictos de interés (Tabla 4).



■ FIGURA 3



Modelo "IDEAL"

■ TABLA 4

| PRINCIPIOS ÉTICOS      | Aplicabilidad a las innovaciones quirúrgicas                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NO DAÑAR               | Preocupación principalmente por el daño a los pacientes. En los estudios previos a IDEAL, los daños a los animales también pueden ser relevantes. Los daños psicológicos de los profesionales de la salud pueden acarrear una innovación fallida.                                                                                                       |
| AUTONOMÍA              | Preocupación principalmente por garantizar procesos rigurosos de consentimiento. Esto incluye informar a los pacientes sobre la naturaleza innovadora del procedimiento y demostrar transparencia sobre los límites del conocimiento existente y el riesgo asociado de complicaciones inesperadas.                                                      |
| JUSTICIA               | Preocupación por la distribución justa del riesgo y los beneficios de la innovación quirúrgica. La selección de pacientes para procedimientos riesgosos no debe involucrar a aquellos que son vulnerables. El acceso a las innovaciones debe ser justo.                                                                                                 |
| CONFLICTO DE INTERESES | Preocupación por el impacto de los conflictos de interés en el juicio. Estos pueden conducir a priorizar los intereses de los cirujanos y fabricantes de dispositivos sobre los de los pacientes dando lugar a injusticias. Los conflictos de intereses surgen cuando las innovaciones quirúrgicas conducen a recompensas financieras y de otros tipos. |

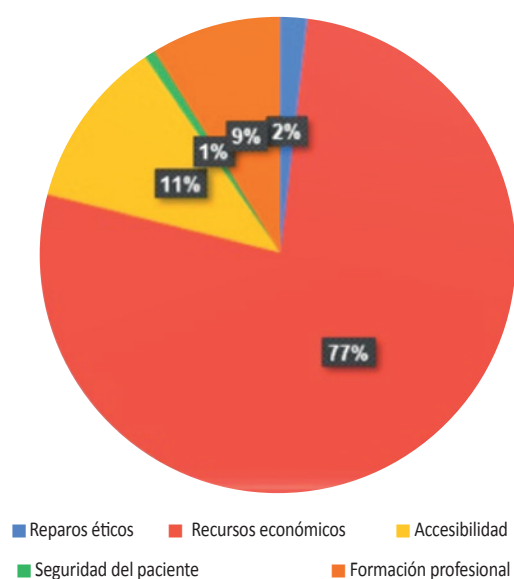
## Regulación e innovación en la Argentina

Nuevamente preguntamos en una encuesta a los asociados cuáles eran las principales limitaciones para la aplicación o adquisición de nuevas tecnologías en la Argentina y en gran mayoría opinaron que la principal limitante fue la asociada a los recursos económicos (Fig. 4). Más allá de eso, introduciremos cuáles son las regulaciones en nuestro país.

Desde el marco legislativo argentino, la Disposición N.º 969/97 de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) aprueba el régimen aplicable a los estudios clínicos de tecnología médica. Determina que un estudio clínico en tecnología médica es una investigación que incluye una o más personas, tendiente a demostrar la seguridad y eficacia de un dispositivo médico, debiendo prevalecer el bienestar individual de los sujetos sometidos a estudio por sobre los intereses de la ciencia y de la comunidad. Estos estudios deben llevarse a cabo con estricta observación de los principios científicos reconocidos y con respeto por la integridad física y psíquica de los pacientes involucrados. Entre sus principios generales menciona que los ensayos deberán estar precedidos por estudios de investigación preclínicos. La incorporación de la innovación estará autorizada, controlada y bajo seguimiento de la ANMAT. A su vez, todo estudio en Tecnologías Médicas deberá ser evaluado por un Comité de Ética independiente de los investigadores.

■ FIGURA 4

### 2 - ¿Cuál es la principal limitación para la aplicación y adquisición de nuevas tecnologías?



Limitantes para la aplicación y adquisición de nuevas tecnologías, según la opinión de los miembros de la AAC

Se enumeran los requisitos de los investigadores. Todo estudio clínico en Tecnología Médica deberá estar bajo la coordinación de un Investigador Principal quien deberá:

1. Responsabilizarse por la realización del estudio clínico en conformidad con el protocolo autorizado.
2. Respetar las Buenas Prácticas de Investigación Clínica.
3. Informar a las personas incluidas en el estudio clínico con el objeto de obtener el Consentimiento Informado debidamente firmado.
4. Proponer y comunicar cualquier modificación al protocolo de estudio clínico original, debidamente fundada, la que deberá ser previamente autorizada.
5. Archivar los registros durante el estudio y después de él.
6. Asegurar la transferencia rigurosa de toda la información en el Formulario de Registro Clínico Individual.
7. Poner a disposición de esta Administración Nacional, de los Comités de Docencia e Investigación, del Comité de Ética y del patrocinante, toda la información que le sea requerida por ellos.
8. Asegurar la reserva de la información en las etapas de preparación, ejecución y finalización del estudio, así como de la identidad de las personas incorporadas a él de tal forma que la información sea confidencial.
9. Tomar las medidas adecuadas en caso de lesiones inesperadas y efectuar los informes necesarios.
10. Elaborar el plan experimental y los informes de avance, y realizar su presentación en la forma y plazos requeridos, y avalados por los Comités de Docencia e Investigación de el/los Centro/s donde se realice el estudio.
11. Dirigir y coordinar el trabajo de los otros investigadores intervinientes en el estudio. Si la investigación fuera llevada a cabo por un único investigador, se deberá justificar y fundamentar que esto es suficiente para comprobar la eficacia y para demostrar la reproducibilidad de los resultados de la prueba.
12. Una vez emitida y notificada la Disposición de autorización del ensayo clínico, el Investigador Principal deberá presentar ante la ANMAT la constancia de comunicación de su designación como tal ante el Colegio Profesional correspondiente a su jurisdicción. Se deberá agregar en el Expediente constancia fehaciente del cumplimiento de dicho requisito, dentro del plazo de sesenta (60) días hábiles administrativos contados a partir de la fecha de notificación del acto administrativo de autorización.

La disposición exige que en todos los formularios de consentimiento informado que se utilicen en un ensayo de tecnología se deberá incluir, en la parte inmediatamente superior al lugar asignado a las firmas y en color rojo, en letras mayúsculas, recuadrado, Times New Roman tamaño 11 o equivalente, el siguiente texto: *Al firmar este formulario Ud. está aceptando participar en una investigación médica en farmacología*

*clínica o en tecnología médica de carácter experimental autorizada por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología médica (ANMAT). Si Ud. tiene alguna duda sobre lo que le han explicado su médico o el comité de ética, antes de firmar sepa que puede consultar a “anmat responde” línea gratuita 0800 333 1234 o al 011 4340 0800, de lunes a viernes de 8 a 17 hs. (Inciso incorporado por art. 8.º de la Disposición N.º 6550/2008 de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica B.O. 7/11/2008. Ver art. 9.º de la misma norma).*

Por último, se determina que –al finalizar el estudio de la innovación– se deberá presentar la discusión de los resultados deducibles de la evidencia científica aportada por los estudios clínicos y no clínicos que cubran los aspectos relativos a: seguridad y eficacia, análisis de la relación riesgo/beneficio, indicaciones y contraindicaciones y posibles eventos adversos.

### Evaluación de tecnologías

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define evaluación de tecnología sanitaria (ETS), como el *proceso sistemático de valorización de las propiedades, los efectos y/o los impactos de la tecnología sanitaria; debe contemplar las dimensiones médicas, sociales, éticas y económicas y tiene como principal objetivo aportar información para que sea aplicada a la toma de decisiones en el ámbito de la salud.*

El interés mundial por el desarrollo de evaluación de tecnologías se pone en evidencia porque la mayoría de los países de alta vigilancia sanitaria ya cuentan con áreas dedicadas a realizar estos análisis. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) promueve la creación de unidades especializadas en las agencias regulatorias de la región.

El grupo denominado GRADE (*Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation*) compuesto por metodólogos, epidemiólogos y clínicos desarrolló un sistema transparente para la evaluación de la calidad de las evidencias y construcción de recomendaciones que fue adoptado por múltiples organizaciones internacionales, entre las que se destacan entre muchas otras, la Organización Mundial de la Salud, el NICE (*National Institute for Health and Care Excellence*), la *Agency for Healthcare Research and Quality* (AHRQ), el UpToDate y el *American College of Physician*. Dicho sistema permite evaluar toda la evidencia disponible para contestar una pregunta clínica determinada, considerando distintos aspectos (riesgo de sesgo metodológico, información indirecta, imprecisión, inconsistencia, riesgo de sesgo de publicación) para definir la calidad de dicha evidencia (o la confianza en la estimación del efecto de una intervención). El sistema propone utilizar las evidencias calificadas, para ser combinadas con otros aspectos relevantes, como

costos o preferencias de médicos y pacientes, y así construir recomendaciones que pueden ser fuertes o débiles según la certeza existente en cuanto a que la mayoría de los pacientes se beneficiará o perjudicará con la intervención recomendada.

En la Argentina, la incorporación de tecnologías conlleva un exhaustivo análisis tanto por el propio innovador como por los entes reguladores nacionales. En este sentido, el Ministerio de Salud de la Nación provee un programa de evaluación de tecnologías sanitarias coordinado por la ANMAT. Este programa consiste en el análisis de la evidencia científica sobre la eficacia, eficiencia y efectividad de las tecnologías utilizadas en salud pública. Comprende la evaluación de los medicamentos, dispositivos y procedimientos médicos o quirúrgicos utilizados en la atención de la salud humana, con la finalidad de proveer insumos que sirvan para orientar la toma de decisiones.

El Programa de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de la ANMAT produce diversos tipos de informes de evaluación (fichas técnicas, evaluaciones rápidas o ultrarrápidas) que responden a preguntas precisas y necesidades urgentes. Pueden abarcar desde tecnologías sanitarias instaladas hasta nuevas tecnologías en fases muy tempranas de investigación.

Al evaluar la forma en que introducimos una innovación, se debe considerar el lugar que ocupa el Estado y la función que le compete en lo concerniente a la adquisición de innovaciones. Para esto se necesita un organismo que funcione como herramienta para tomar decisiones racionales, transparentes, basadas en la evidencia y éticamente responsables. La función de esta entidad resulta importante para que alguien pueda acceder a una tecnología que necesita en el momento que lo requiere. Esto fundamenta que, si un beneficio no es para todos los que lo necesitan, no se trata de un derecho sino de un privilegio. El acceso a la tecnología inadecuada y/o en el momento inadecuado puede ser riesgoso para el propio paciente.

Dependiendo del sistema de salud, los costos adicionales pueden hacer que el nuevo procedimiento solo esté disponible para aquellos con ingresos suficientes para pagarlo, o de otro modo, los costos adicionales pueden distribuirse en todo el sistema de salud tomando recursos de otras terapias convencionales que podrían tener un beneficio comprobado. Aunque lo que es costoso no es inherentemente ni bueno ni malo, debemos evaluar claramente las implicaciones de costos en opciones de procedimientos innovadores.

En este sentido el Estado se enfrenta al desafío de garantizar eficiencia y equidad siendo al mismo tiempo sostenible desde el punto de vista económico. La OMS expresó en el año 2014 que: *Ningún país, por más rico que sea, está en capacidad de proveer a toda su población de todas las tecnologías o intervenciones que podrían mejorar la salud o prolongar su vida.* El fin último de la Evaluación de Tecnología Sanitaria (ETS) es

dar soporte para la toma de decisiones, en tres niveles diferentes (Del Llano Señarís y cols., 1998):

- Macro: para la Autoridad Sanitaria, facilitando procesos de regulación, autorización y registro, y orientando criterios de idoneidad de la cobertura por parte del sistema de salud.
- Meso: ayudando a los aseguradores y directivos a definir las prestaciones y cartera de servicios, y a la industria, verificando resultados y consecuencias de sus productos.
- Micro: a los profesionales que asisten a los pacientes, estableciendo condiciones para el uso adecuado de la tecnología. Y, también, ayudando a los pacientes proporcionándoles fundamentos para la elección de alternativas basadas en sus preferencias.

Por su parte, el proceso de Evaluación de Tecnología Sanitaria incluye generalmente definiciones sobre cinco actividades (O'Sullivan y cols., 2009):

1. Definición del horizonte de la evaluación.
2. Priorización y definición del tema para evaluar.
3. Búsqueda y análisis de la evidencia.
4. *Appraisal* o valoración.
5. Financiamiento e implementación.

Nos preguntamos: *¿Cuál es la situación actual en la Argentina?*

El sistema de salud argentino está compuesto por tres subsistemas: el público, el de obras sociales y el privado. El primero opera en los tres niveles de gobierno: nacional, provincial y municipal. Los dos restantes abarcan cerca de 300 obras sociales nacionales, 24 obras sociales provinciales y cuentan, además, con sistemas de medicina prepaga, seguros privados de salud y mutuales.

La Red Argentina Pública de ETS (RedARETS) tiene 15 nodos: 6 correspondientes a los ministerios de salud provinciales de Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Mendoza, Neuquén, Río Negro y Santa Fe, la Superintendencia de Servicios de Salud (SSSalud), la Dirección Nacional de Calidad en Servicios de Salud y Regulación Sanitaria del Ministerio de Salud de la Nación, el Instituto Nacional del Cáncer, el Hospital El Cruce, el Instituto Cardiovascular de Corrientes y 4 centros universitarios.

En la Argentina, ante la necesidad de dar respuesta al avance científico e innovación tecnológica, el Poder Ejecutivo ha anunciado la creación de una Agencia Nacional de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (AGNET) como uno de sus objetivos prioritarios en salud, cuyo proyecto de ley se encuentra en discusión en el Congreso. Mediante esta agencia, se buscaría empezar a incorporar criterios de seguridad, eficacia, efectividad, costos, e impacto global de las tecnologías sanitarias (en términos generales, criterios de “farmacoeconomía”). Tales criterios se incorporarían no en la toma de decisiones sobre si aprobar la importación o comercialización de una determinada tecnología médica (lo cual es competencia de la ANMAT), sino en la

toma de decisiones sobre cómo, cuándo y dónde asignar recursos (sobre todo, presupuestarios) del sistema sanitario. Según este proyecto, la AGNET permitiría obtener información científica y estadística más precisa sobre tales cuestiones, facilitando la adopción de políticas más adecuadas y razonables en términos de costo y beneficio.

Hasta tanto proceda el debate legislativo sobre el proyecto AGNET, el Ministerio de Salud estimó necesario crear la Comisión Nacional de Evaluación de Tecnologías Sanitarias (CONETEC) mediante la Resolución 623/2018.

Una de las atribuciones de la CONETEC radica en convocar a distintas organizaciones para colaborar con la realización de informes de ETS. Esta Comisión tiene como competencias realizar evaluaciones de tecnologías sanitarias a fin de determinar su uso apropiado, oportunidad y modo de incorporación para su financiamiento y/o cobertura. Asimismo, la Comisión emitirá “recomendaciones sobre la incorporación, forma de uso, financiamiento y/o políticas de cobertura de las tecnologías sanitarias”.

La CONETEC depende de la Unidad de Coordinación General del Ministerio, y les otorga funciones de Coordinador General de la unidad a la titular de la Unidad de Coordinación General, y de Coordinador Operativo al secretario de Coberturas y Recursos de Salud. La CONETEC está integrada por representantes de gran parte de los actores del sistema de salud argentino. Entre ellos: un representante del Ministerio de Salud, uno por el Consejo Federal de Salud (COFESA), uno por la Superintendencia de Servicios de Salud y uno por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Y habilita al Coordinador General a invitar a participar de la misma unidad a un representante por el Instituto Nacional de Servicios Sociales para Jubilados y Pensionados (INSSJP), uno por las Obras Sociales Nacionales, uno por las Obras Sociales Provinciales, uno por las Entidades de Medicina Prepaga, uno por las asociaciones de pacientes, y uno por la Defensoría del Pueblo de la Nación.

Sus competencias son básicamente las ya propuestas para la AGNET, pero introduce la facultad del titular de la Unidad de Coordinación General para “solicitar asesoramiento, en forma permanente o eventual, y con carácter ‘ad honorem’ a otros representantes de la sociedad civil, sociedades científicas, instituciones académicas, productores de tecnología de salud, agencias y comisiones públicas o privadas que trabajen en la evaluación de tecnologías sanitarias, así como personas e instituciones de reconocida trayectoria”.

Aunque impresiona favorablemente la existencia de avances en el campo de la ETS, existirían aún muchas limitaciones. Pese a que la mayoría de las instituciones cuenta con personal capacitado con formación específica, la falta de recurso humano persiste como una de las barreras más importantes para cumplir los

requerimientos. Además, casi el 50% de las instituciones no recibe financiamiento específico para la tarea de ETS. También se destacan como una de las limitantes más importantes en la implementación las dificultades organizacionales e institucionales. En la Argentina aún no existe legislación vigente que incluya la ETS en el proceso de decisión.

### Adopción de nuevas tecnologías

Una vez enmarcado qué es lo correcto o éticamente aceptable, lo económicamente posible y equitativo y lo legal, nos surge una última pregunta:

¿Cuál es la actitud que tomamos ante una innovación y para la adopción de nuevas tecnologías?

Según la teoría social sobre de la difusión de la innovación descrita por E. M. Rogers en 1962, se intenta explicar cómo, con el tiempo, una idea o producto cobra impulso y se difunde (o se propaga) a través de una población o sistema social específico y, como resultado final de esta difusión, las personas adoptan una nueva idea, comportamiento o producto.

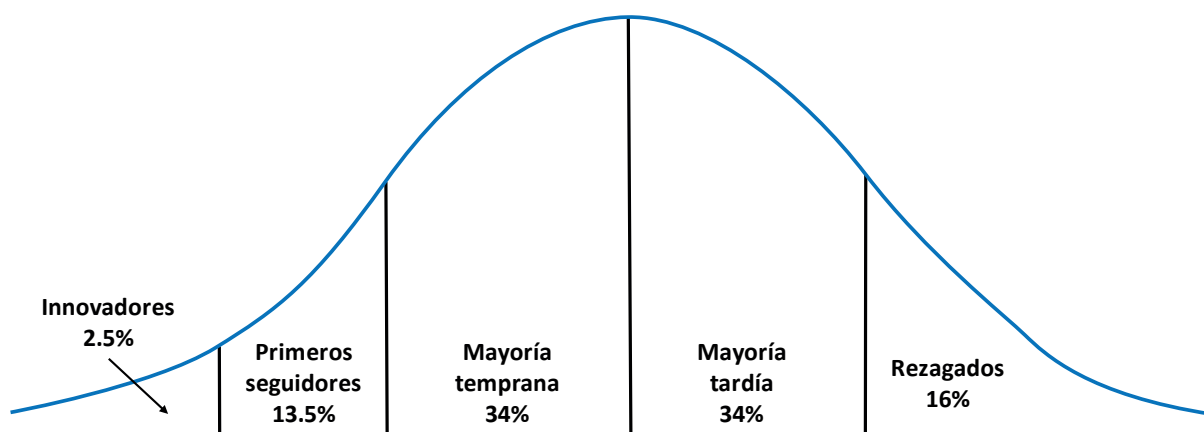
La clave para la adopción es que la persona debe percibir la idea, el comportamiento o el producto como nuevo o innovador para así permitir su difusión. Para promover la adopción de una innovación es importante comprender las características de la población-objetivo que ayudarán o dificultarán el proceso.

La adopción de la innovación no ocurre simultáneamente en todos los individuos de un sistema social; más bien es un proceso mediante el cual algunas personas son más propensas a adoptarla que otras. Los investigadores han encontrado que las personas que adoptan una innovación temprano tienen características diferentes de las personas que adoptan una innovación más tarde.

Hay cinco categorías de adoptantes establecidas:

1. **Innovadores:** son personas que quieren ser los primeros en probar la innovación. Son emprendedores e interesados en nuevas ideas. Estas personas están muy dispuestas a asumir riesgos y, a menudo, son las primeras en desarrollar nuevas ideas. Se necesita hacer muy poco, si es que se hace algo, para atraer a esta población.
2. **Primeros seguidores:** estas son personas que representan a los líderes de opinión. Disfrutan de los roles de liderazgo y aprovechan las oportunidades de cambio. Son conscientes de la necesidad de cambiar y, por lo tanto, se sienten muy cómodas adoptando nuevas ideas. Las estrategias para atraer a esta población incluyen manuales prácticos y hojas de información sobre la implementación. No necesitan información para convencerse de cambiar.
3. **Mayoría temprana:** estas personas rara vez son líderes, pero adoptan nuevas ideas antes que la persona promedio. Dicho esto, por lo general necesitan ver evidencia de que la innovación funciona antes de estar dispuestas a adoptarla. Las estrategias para atraer a esta población incluyen historias de éxito y evidencia de la eficacia de la innovación.
4. **Mayoría tardía:** estas personas son escépticas ante el cambio y solo adoptarán una innovación después de que la mayoría la haya probado. Las estrategias para atraer a esta población incluyen información sobre cuántas otras personas han probado la innovación y la han adoptado con éxito.
5. **Rezagados:** estas personas están ligadas a la tradición y son muy conservadoras. Son muy escépticas ante el cambio y constituyen el grupo más difícil de incorporar. Las estrategias para atraer a esta población incluyen estadísticas, apelaciones de miedo y presión de personas en los otros grupos de adoptantes (Fig. 5).

■ FIGURA 5



Curva de Rogers



Aunque la mayoría de la población general tiende a caer en las categorías intermedias, es necesario comprender las características de la población-objetivo. Al promover una innovación se utilizan diferentes estrategias para atraer a las diferentes categorías de adoptantes.

Las etapas mediante las cuales una persona adopta una innovación y se logra la difusión incluyen la conciencia de la necesidad de una innovación, la decisión de adoptar (o rechazar) la innovación, el uso inicial de la innovación para probarla y el uso continuado de la innovación. Hay cinco factores principales que influyen en la adopción de una innovación, y cada uno de ellos está en juego en un grado diferente en las cinco categorías de adoptantes:

1. **Ventaja relativa:** el grado en que una innovación se considera mejor que la idea, el programa o el producto al que reemplaza.
2. **Compatibilidad:** cuán consistente es la innovación con los valores, experiencias y necesidades de los adoptantes potenciales.
3. **Complejidad:** cuán difícil es entender y/o usar la innovación.

4. **Probabilidad:** la medida en que la innovación se puede probar o experimentar antes de que se haga un compromiso para adoptar.

5. **Observabilidad:** la medida en que la innovación proporciona resultados tangibles.

Sobre esta base hemos realizado una pregunta a socios de la Asociación Argentina de Cirugía (AAC): ¿Cuál considera que es su perfil quirúrgico teniendo en cuenta el momento de adopción de una nueva tecnología? (Fig.6).

Sobre un total de 324 respuestas hemos observado la inversión en la curva de Rogers, en la que un gran porcentaje se considera innovador y un muy bajo número se ubica dentro de los rezagados. Esto habla de una sociedad proactiva, emprendedora, dispuesta a asumir riesgos, pero debemos tener en cuenta a su vez la vulnerabilidad que implica ese deseo de aventurarse hacia lo nuevo y creer que tal vez lo más novedoso y exportado es lo mejor, sin someterlo a un juicio crítico, sin darle lugar a la experiencia y la información y sin valorar los costos y beneficios que tal vez pueden llevarnos al fracaso (Fig. 7).

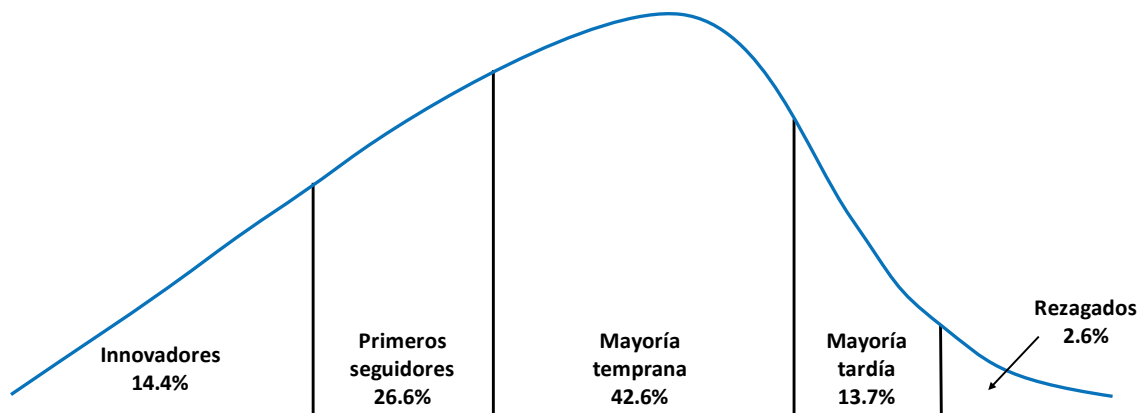
■ FIGURA 6

### 3 - ¿Cuál considera que es su perfil quirúrgico teniendo en cuenta el momento de adopción de una nueva tecnología?



Porcentaje de categorías según respuestas de los socios de la AAC

■ FIGURA 7



Curva de Rogers según respuestas de los socios de la AAC

## Proyección hacia el futuro

En este último punto tenemos como objetivo expresar el futuro de los avances tecnológicos en la cirugía. Creemos que nos sería imposible abarcar en este Relato todos los avances que se vienen y por ello nos gustaría enfocarnos en exponer hacia dónde creemos que se dirige el futuro de la cirugía.

El proceso de innovación, como bien mencionamos previamente, va de la mano de algún descubrimiento científico o tecnológico como puntapié inicial que permita su desarrollo. Por ejemplo, para realizar una tomografía primero tuvieron que desarrollarse la electricidad, luego los rayos “x”, luego la informática, y todo en conjunto permitió llegar hoy a la innovación de este método de imágenes que, gracias a los posteriores avances informáticos, continúa en perfeccionamiento.

En los últimos 20 años pudimos vivir un crecimiento exponencial en cuanto a los avances tecnológicos desde una computadora que ocupaba un cuarto hasta la que hoy cabe en un bolsillo. Con respecto a los avances quirúrgicos para los próximos 10 años, se espera mejorar y perfeccionar estas tecnologías ya adquiridas (Fig. 1).

Para los próximos 50 años se planifica el avance de cuatro temáticas, las llaves que van a abrir la

puerta para el siguiente salto tecnológico y de una nueva cirugía moderna, y se relacionan con la inteligencia artificial, la robótica asociada a la inteligencia artificial, la ingeniería genómica y la medicina regenerativa.

Sobre esta base realizamos una pregunta a socios de la AAC sobre cuánto sabían acerca de la inteligencia artificial y la cirugía robótica (Fig. 2).

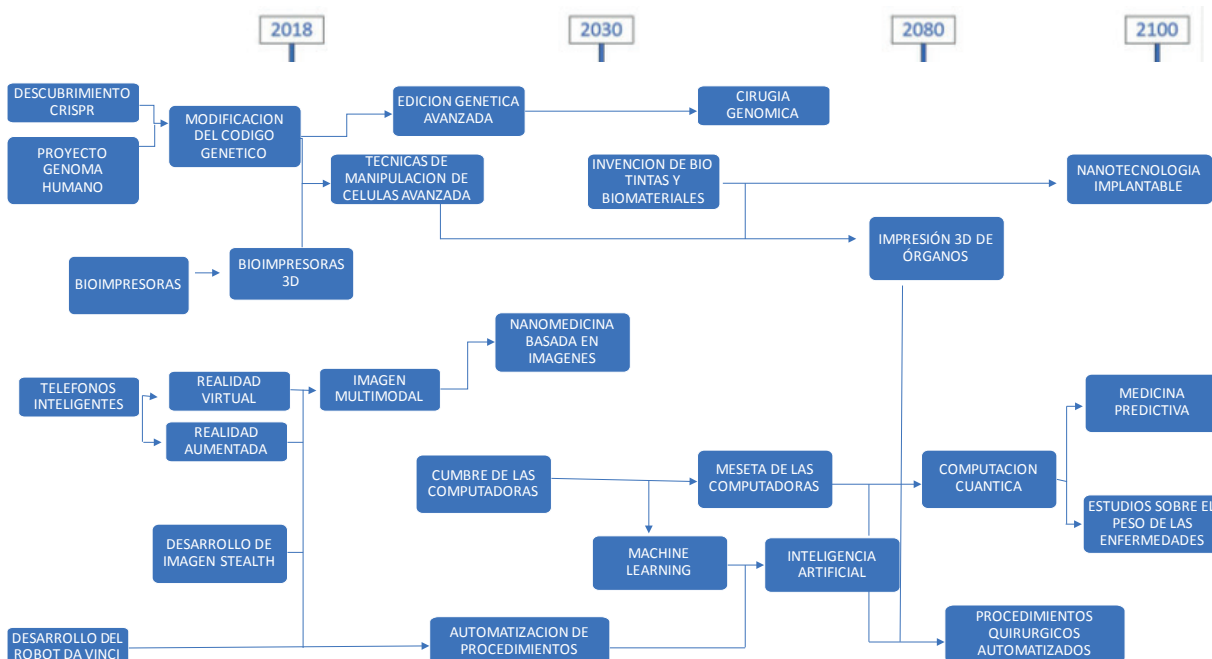
La gran mayoría indicó conocer poco y nada sobre esta temática y solo un 6% refirió tener conocimiento del tema.

### Una breve introducción a la inteligencia artificial

La inteligencia artificial tiene una gran variedad de definiciones según el contexto o la era. Dicho de manera simple, inteligencia artificial son aquellos sistemas de computadoras capaces de realizar tareas que habitualmente requieren la inteligencia humana, como puede ser el reconocimiento de voz, la percepción visual y la toma de decisiones. Disciplinas como la Biología, la Filosofía y las Ciencias de la computación desempeñan un papel importante en su desarrollo.

Una máquina inteligente que pueda entender

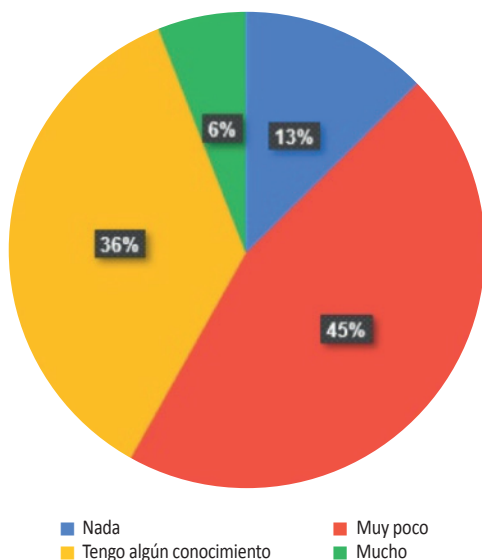
FIGURA 1



Línea de tiempo con predicción de futuras tecnologías quirúrgicas

■ FIGURA 2

#### 4 - ¿Cuánto sabe sobre robótica e inteligencia artificial en cirugía?



Porcentajes de categorías de conocimiento sobre robótica e inteligencia artificial en socios de la AAC

y resolver problemas de una manera similar o superior al cerebro humano es el mayor objetivo de la inteligencia artificial.

Hubo tres pilares notables en el progreso hacia la inteligencia artificial que conocemos hoy en día. El primero está marcado por el intento de conectar la maquinaria básica a la filosofía del pensamiento (vista en los trabajos desde Leonardo da Vinci hasta Alan Turing) y el auge del razonamiento numérico y la computación. El segundo pilar es el establecimiento de una comprensión básica del razonamiento lógico junto con los intentos de definir una máquina racional. El tercero engloba el desarrollo de técnicas para responder a la pregunta: ¿Cómo puede uno cuantificar el razonamiento?

Es difícil y arbitrario dividir la historia de la inteligencia artificial en períodos específicos de tiempo. Frecuentemente vemos estos pilares ocurriendo en paralelo a lo largo del tiempo, porque el desarrollo de la inteligencia artificial no ocurrió en segmentos sino en avances juntos a lo largo de la historia.

Si bien la inteligencia artificial no fue concebida como término hasta 1956, es un concepto que se creó hace cientos de años. Tener máquinas autónomas que imiten a los seres humanos ha sido propiedad de la imaginación del hombre por siglos.

Alrededor del año 250 a.C., Ktesibios de Alexandria (ca. 285 a.C.-222 a.C.) creó la primera máquina autocontrolada, un reloj controlado por agua que demostraba la retroalimentación autorregulable.

Hacia el siglo XIX, la lógica, la filosofía, la

matemática y las primeras calculadoras comenzaron a transformarse en máquinas más complejas y formaron un camino hacia la inteligencia artificial.

Las neurociencias y la computación siguieron un trayecto que abarcó desde el siglo XVII hasta el siglo XX. Comenzó en 1873, cuando el médico y citólogo italiano Camillo Golgi (1843-1926) observó por primera vez las neuronas al usar una nueva técnica de tinción ahora conocida como tinción de Golgi. Compartió el Premio Nobel en 1906 con el médico español Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), quien condujo trabajos similares en la estructura microscópica del cerebro e ilustró las numerosas conexiones celulares que formaron lo que más tarde sería conocido como conexiones neuronales.

El área de la matemática fue avanzando en paralelo a los avances de la biología y las neurociencias. A principios del siglo XX, en Inglaterra, un nuevo acercamiento a la lógica fue descrito en *Principia Mathematica* de Bertrand Russell (1872-1970) y Alfred North Whitehead (1861-1947), quienes defendían la idea de que la matemática puede reducirse a la lógica y, por ende, es una extensión de ella.

Los avances matemáticos llevaron al lógico, informático teórico, filósofo y biólogo teórico británico Alan Mathison Turing (1912-1954), en 1945, al diseño de una de las primeras computadoras operacionales conocida como motor de cómputo automático (ACE, *Automatic Computing Engine*), la cual sirvió como modelo para la primera computadora personal. Sin embargo, en ese tiempo, el trabajo de Turing se vio opacado por el diseño de EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*) a cargo del matemático húngaro-estadounidense John von Neumann (1903-1957), el cual utilizó lenguaje binario y fue visto como un lenguaje de programación relacionado con los lenguajes de programación modernos.

En 1946, Arthur Samuel (1901-1990), un pionero en el campo de los juegos informáticos y la inteligencia artificial, creó un algoritmo de computadora que permite a una computadora jugar a las damas, tal vez el primer ejemplo de un programa con la habilidad de aprender de sus errores.

En 1950, Alan Turing definió el Turing Test, el cual provee parámetros que determinan si un programa de computadora puede tener pensamientos "originales". Una computadora resultaba exitosa si la prueba no podía diferenciar la computadora de un ser humano.

En 1960 se desarrolló LISP, un lenguaje de programación de tipo multiparadigma usado en inteligencia artificial. Entre 1960 y 1970 se produjo el primer "invierno" de la inteligencia artificial: la comunidad científica perdió entusiasmo, lo que llevó a reducir el interés en el tema. A pesar de esto, varios investigadores continuaron, especialmente en medicina. En la década de 1970, el informático biomédico, médico y científico informático estadounidense Edward Shortliffe, el científico

de la computación Ed Feigenbaum y Bruce Buchanan crearon MYCIN, un sistema basado principalmente en un sencillo motor de inferencia que manejaba una base de conocimiento de aproximadamente unas 500 reglas. Su principal función consistía en el diagnóstico y tratamiento de infecciones sanguíneas. Jack Myers y Harry People desarrollaron INTERNIST, un programa de diagnóstico médico creado a partir de la computadora PDP-10 (*Programmed Data Processor model 10*) y el lenguaje de programación de computadora LISP.

El desarrollo de nuevas tecnologías permitió el notable avance dando lugar al período moderno de la inteligencia artificial. En 1989, Yann LeCun publicó un trabajo sobre conectividad de sistemas, remarcando la habilidad de aprender de ejemplos. Incluyó ejemplos que aplicaban el reconocimiento de imágenes. A mediados del año 2000 se comenzó a mejorar notablemente el acceso a grandes conjuntos de datos. Esto puso el foco de atención dentro de la investigación en inteligencia artificial.

El concepto de *machine learning*, traducido como el aprendizaje de las máquinas, se refiere a la aplicación de la inteligencia artificial de tal forma que se le otorga al sistema la capacidad de aprender automáticamente y mejorar su experiencia sin necesidad de una reprogramación. Se deja de usar información basada en conocimiento para virar hacia la utilización de información basada en datos.

El concepto de *deep learning* se refiere al subconjunto del aprendizaje automático que se basa en redes capaces de aprender sin supervisión, a partir de datos que no están estructurados ni etiquetados, generalmente utilizando redes neuronales de múltiples capas.

Los sistemas basados en datos ofrecen mayor flexibilidad, lo cual se logra a través del desarrollo de algoritmos para la recopilación de información (EHR, por sus siglas en inglés, *Electronic Health Record*) y un procesador del lenguaje (NLP, por sus siglas en inglés, *Natural Language Processing*) para mejorar la eficacia de la toma de datos y la codificación. Un estudio realizado en 2020 mostró que, a un residente, el mismo proceso de adaptación a la recopilación de información y a la utilización de esta le toma cerca de 8 meses dentro de sus 5 años de formación.

Para un correcto desarrollo de la inteligencia artificial, los algoritmos deben poseer, idealmente, las siguientes características:

1. **Explicables:** transmiten la importancia relativa de las características para determinar los resultados.
2. **Dinámicos:** capturan cambios temporales en signos fisiológicos y eventos clínicos.

3. **Precisos:** la frecuencia de datos coincide con la fisiología; la arquitectura es acertadamente compleja.
4. **Autónomos:** se ejecutan sin la entrada manual de datos, que consume mucho tiempo.
5. **Justos:** evalúan y mitigan el sesgo implícito y la inequidad social.
6. **Reproducibles:** validados externa y prospectivamente, compartidos con las comunidades de investigación.

La aplicación de redes neuronales y *deep learning* ganaron su momento en el campo de la medicina con aplicaciones para predecir los resultados mediante el uso de registros de salud electrónicos, análisis de imágenes médicas y ciencias de datos quirúrgicos. Por ejemplo, variantes de UNet, una red neuronal CNN (*convolutional neural networks*) desarrollada para la segmentación de imágenes biomédicas en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Friburgo, fueron usadas para remarcar estructuras anatómicas a nivel de píxeles. EndoNet, una extensión de AlexNet (CNN diseñada por Alex Krizhevsky en colaboración con Ilya Sutskever y Geoffrey Hinton), fue usada para analizar el flujo de trabajo quirúrgico en videos endoscópicos.

El objetivo de la inteligencia artificial no se fundamenta en reemplazar al ser humano sino en ser un complemento. El desarrollo de sistemas de aprendizaje para realizar análisis de información, un rápido procesamiento de esta y brindar una opinión inmediata resulta posible gracias a avances tecnológicos, de los procesadores e Internet, que permiten el acceso inmediato a enormes y variadas bases. Sin embargo, se fracasó en el uso de la inteligencia artificial en la toma de decisiones en medicina; se le llama "El valle de la muerte de la inteligencia artificial" (*The valley of death of the artificial intelligence*), que –según se interpreta– se debe a la dificultad para integrar la correcta carga de la información con el conocimiento y la experiencia adquiridos. Es decir, se necesita poseer rasgos humanos de creatividad, altruismo, deliberación moral e inteligencia emocional.

Hay mucho camino por recorrer; lo que hoy en día se presenta como un Santo Grial aún requiere recursos para un mayor manejo de la información con la confección y acceso a bases de datos, el desarrollo de un algoritmo lo más adecuado posible para el análisis de cientos y miles de videos, imágenes y estudios que darán la precisión en el diagnóstico. Y el dilema ético que compromete un gasto que alguien tiene que afrontar: ¿Se hará una base de datos de libre acceso para brindar mundialmente el mejor sistema de salud posible o solo quien abone la suscripción podrá acceder a ella?

Aunque parecen escenarios lejanos, la inteligencia artificial ya es parte del sistema en la actualidad y la utilizamos diariamente en nuestros teléfonos móviles y en los sistemas de historia clínica digitalizada, en los *softwares* que permiten las reconstrucciones de imágenes, en la simulación quirúrgica, en la cirugía robótica y en otras innumerables actividades diarias que desarrollamos.

### La robótica y la inteligencia artificial

La robótica ya no se presenta como tecnología del futuro en la cirugía, se la utiliza actualmente. Más de un millón de procedimientos se realizan anualmente con dispositivos robóticos y se pueden apreciar los beneficios de sus avances.

Sin embargo, el salto cualitativo en cirugía va de la mano de la asociación entre inteligencia artificial y robótica. Se dirige hacia el logro de un tratamiento de mayor eficacia con disminución al mínimo del error humano. Reduce la necesidad del cirujano de enfocarse en procesos automatizados y pueda poner la atención en procesos más complejos y menos automatizables, se incrementa la eficacia, seguridad y efectividad del procedimiento.

Un concepto necesario para llevar a cabo estas tareas es la visión computarizada (*computer vision*), tecnología en plan de ponerse en práctica, la cual permite a la computadora ver e interpretar contenido visual y, eventualmente, aplicarlo a través de imágenes hiperespectrales. Consiste en recopilar a través de

sensores y procesar información a lo largo de todo el espectro electromagnético y con ello lograr la formación de imágenes. Cada imagen representa un rango del espectro electromagnético también conocido como banda espectral. Estas imágenes se combinan y forman una imagen tridimensional hiperespectral, un cubo de datos, para el procesamiento y análisis que será procesado por la computadora, lo que le da la capacidad de ver y entender lo que se está viendo, dado que puede combinarse con inteligencia artificial, *machine learning* y *deep learning* (Fig. 3).

Un estudio que analizó automáticamente los tejidos hepáticos y en cabeza y cuello con *machine learning* mostró que la utilización de imágenes hiperespectrales combinada con *machine learning* puede ser de ayuda para el desarrollo de aplicaciones para realizar cirugías guiadas por imágenes (*Automatic tissue segmentation of hyperspectral images in liver and head neck surgeries using machine learning*).

Otro estudio llevado a cabo en el *Children's National Health System and Johns Hopkins University* mostró que un robot (STAR®, *Smart Tissue Autonomous Robot*) pudo realizar, en un cerdo, una anastomosis intestinal guiada por la marcación con verde de indocianina con una mínima ayuda o casi nula por parte del ser humano (Fig. 4).

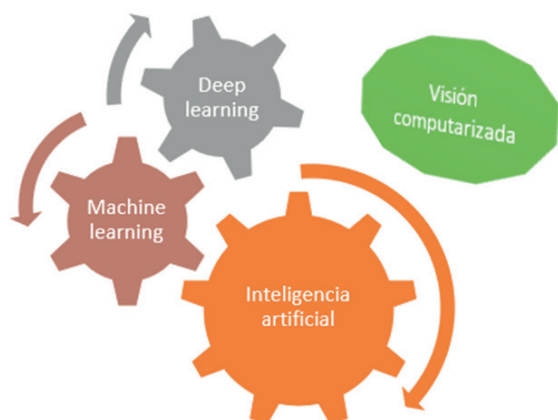
La aplicación de la *computer vision* en medicina resulta amplia. Se observaron mejorías en la sensibilidad e interpretación de estudios diagnósticos para la detección por inteligencia artificial de lesiones en estudios de imágenes o como ayuda en la identificación y categorización de lesiones durante la realización de estudios endoscópicos (Fig. 5).

Son innumerables las utilidades que se le pueden otorgar a la tecnología que combina inteligencia artificial, *computer vision* y *deep learning* para modelar datos y acciones desde la perspectiva de algoritmos.

Las actuales investigaciones de la aplicación de *deep learning* en cirugía se dividen en 3 categorías :

- Planificación preoperatoria: un procedimiento quirúrgico es planificado por los médicos sobre la base de algoritmos de *deep learning* a partir de información del paciente, como imágenes, registros médicos y resultados de laboratorios.
- Navegación intraoperatoria: guía asistida por *deep learning* que brinda ayuda a los cirujanos, en especial en cirugías con visibilidad limitada como la endoscópica.
- Control operatorio: se incrementa la automatización y se optimiza el control de la cirugía por *deep learning* a través del modelado y la representación de procedimientos quirúrgicos.

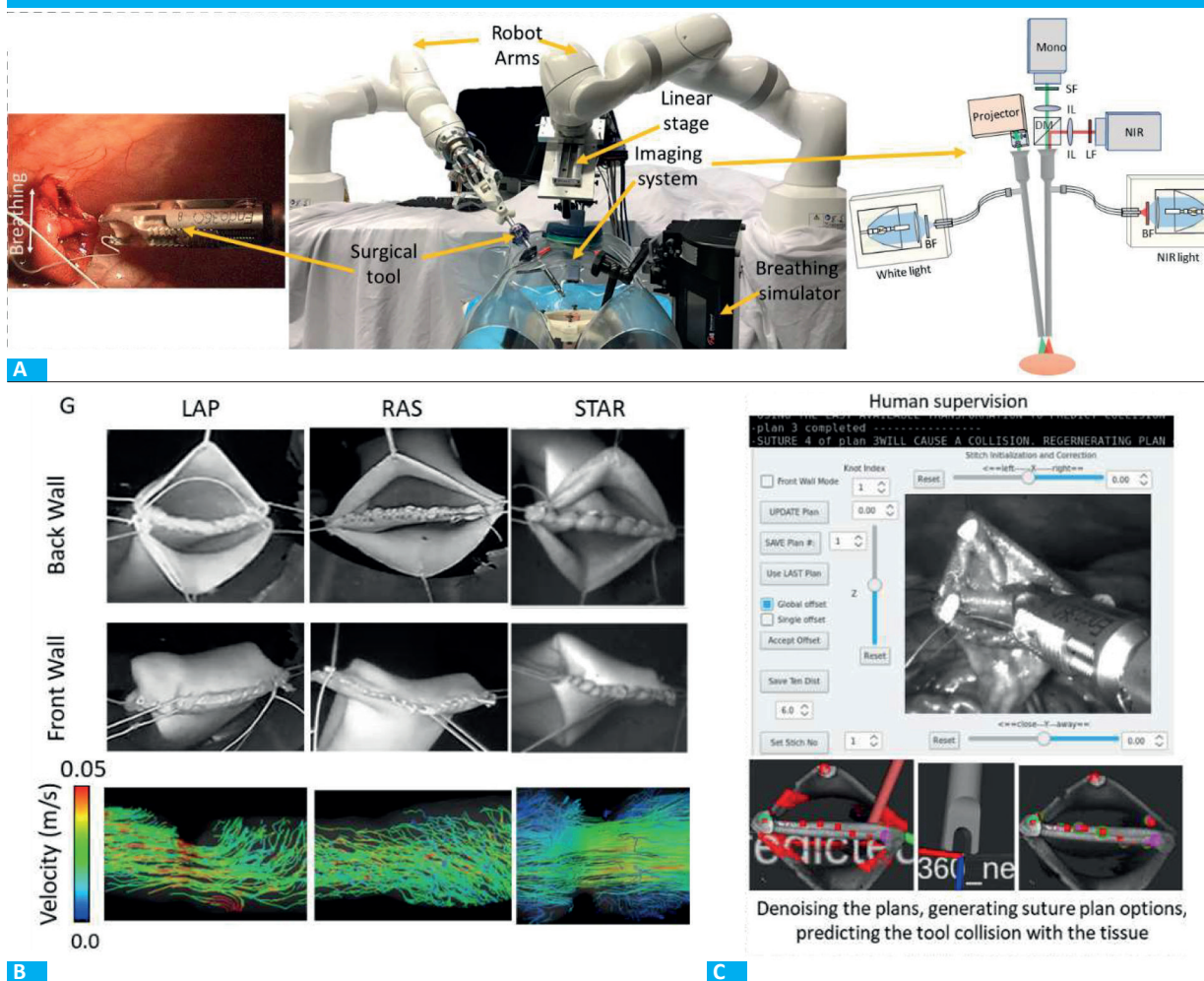
■ FIGURA 3



Concepto de visión computarizada



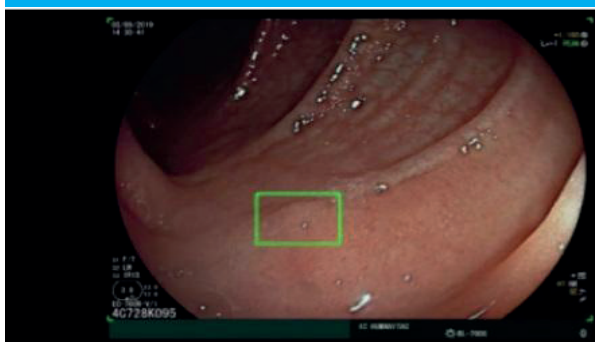
■ FIGURA 4



Experiencia quirúrgica robot STAR, entero-entero anastomosis sobre un cerdo. A: Dispositivo en acción con esquema del prototipo. B: Opciones de puntos de sutura bajo visión computarizada con la supervisión humana. C: Comparación de anastomosis con laparoscopia (LAP), cirugía robótica (RAS) y modelo STAR.

\*Modificada de H. Saeidi et al. *Breaking Barriers in Robotic Soft Tissue Surgery: Conditional Autonomous Intestinal Anastomosis*. <https://arxiv.org/abs/2107.01288>

■ FIGURA 5



Computer vision en diagnóstico endoscópico, detección de lesiones planas

### Deep learning para planificación preoperatoria

- Modelado de datos: la identificación de lesiones y anomalías a partir de imágenes en el preoperatorio puede dar información diagnóstica a los cirujanos durante la planificación quirúrgica (capacidad de detectar hemorragia intracraneal, efectos de masa en tomografía computarizada). La segmentación de imágenes/volumen puede dar una identificación anatómica precisa de órganos y posibles lesiones permitiendo planificación para resecciones y reconstrucciones. Los algoritmos de *deep learning* permiten dar imágenes 3D, las cuales se pueden valorar durante el procedimiento quirúrgico.

- Modelado de acción: a través de una base de datos de tratamientos, *deep learning* permite analizar los datos clínicos de un paciente para evaluar la posible progresión de complicaciones a partir de las decisiones en el tratamiento.

### Deep learning en navegación intraoperatoria

- Modelo de datos: la localización automática en cirugía mínimamente invasiva permite estimar la posición del instrumental. La posición estimada y el contexto de la información relacionada con el instrumental y los tejidos es vital para proveer una devolución háptica y táctica al cirujano. La mayoría de los laparoscopios tradicionales tienen una cámara 2D. *Deep learning* se usa para estimar la posición 3D.
- Modelo de acción: el uso de *deep learning* en el entrenamiento de cirujanos permite objetivar la evaluación del desempeño a través del análisis de movimientos y videos.

### Deep learning para control operatorio

- Modelo de datos: en cirugía laparoscópica se necesita de un ayudante que controle la cámara para seguir los movimientos del cirujano. Fujii, utilizando *deep learning*, desarrolló un brazo robótico que controla la cámara laparoscópica prediciendo y siguiendo los movimientos del cirujano. *Deep learning* también fue desarrollado para proveer al cirujano de una retroalimentación acerca de la presión que utiliza sobre los tejidos.

La inteligencia artificial también puede ser utilizada en la educación de varias tareas quirúrgicas:

- Seguimiento de instrumental quirúrgico identificando localización y postura del instrumental a partir de imágenes, videos y datos de movimiento.
- Organizar los videos o datos en diferentes fases y tareas.

- Segmentar la escena quirúrgica localizando las estructuras anatómicas y el instrumental.
- Calificación basada en el rendimiento de pequeños fragmentos de tareas o una operación entera usando criterios estandarizados como OSATS, GOALS o GEARS.

La tendencia en ciencia de datos en cirugía es favorecer el uso de métodos que minimicen la necesidad de supervisión. El proceso de recolección de datos es caro y consume tiempo, pero en cirugía robótica la disponibilidad de datos de diferentes sensores es crucial en el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial (Fig. 6).

Para complementar lo mencionado anteriormente, se destacan el conjunto de leyes de la robótica de Isaac Asimov introducidas en 1942, cuando enuncia las "Tres leyes de la robótica":

- Un robot no puede dañar a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daños.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le den los seres humanos, excepto cuando tales órdenes entren en conflicto con la Primera Ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia siempre que dicha protección no entre en conflicto con la Primera o Segunda Ley.

Utilizar inteligencia artificial éticamente incluye el respeto de los principios éticos de la cirugía: la autonomía, la no maleficencia, la beneficencia y la justicia. Motivo por el cual, la utilización de esta tecnología debe ser siempre supervisada y ejercida por una persona que haga valer estos principios y sea legalmente responsable de su accionar.

### Ingeniería genómica

Entre las llaves que nos llevan hacia la cirugía del futuro se mencionó la ingeniería genómica, con posibles aplicaciones para diagnóstico y tratamiento dirigido a enfermedades oncológicas. La manipulación del código genético es un universo en estudio con un techo difícil de visualizar, donde la ética tomará un lugar de

■ FIGURA 6



Sistema robótico ideal

extremada importancia ya que su implementación puede llevarnos a hacia otra medicina.

En la actualidad ya se implementan los análisis genéticos y la detección de alteraciones genómicas que nos predisponen a enfermedades oncológicas como son el BRCA 1 y BRCA 2 en el cáncer de mama, y hasta se adoptan conductas frente a estas alteraciones.

Asimismo es conocido que no todos los tumores son iguales, y actualmente no solo nos basta saber qué tipo de tumor es, sino también sus variaciones, que pueden estudiarse como en el cáncer de páncreas donde las mutaciones oncogénicas de KRAS se observan en el 93% de los pacientes además de las mutaciones en los genes supresores CDKN2A, TP53 y SMAD4. Las mutaciones activan la inhibición de las señales que permiten el desarrollo tumoral (RAS-RAF-MEK-ERK) y la supervivencia de células cancerosas. Este conocimiento condujo al enfoque terapéutico prometedor como es la inhibición de la señalización de MEK, que permite la adaptación de tratamientos médicos acordes con las características de un individuo y actualmente generan un cambio en la terapéutica quirúrgica. El fin último de la investigación del cáncer y de la medicina de precisión es poder predecir la respuesta celular de un paciente a un fármaco. Sin embargo, aún es un reto.

Parece ciencia ficción, pero hay un nuevo concepto en boga: “cirujanos genómicos” o la “cirugía del genoma” desarrollada gracias a la capacidad no solo de secuenciar rápidamente nuestros genes, sino también de manipularlos para su tratamiento. Esto se realiza a través de los CRISPR-Cas9 (en inglés *clustered regularly*

*interspaced short palindromic repeats*; en español, repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas) que, dicho de forma simple, son tijeras que permiten seccionar el genoma sobre el gen alterado y repararlo mediante ARN manipulados que los reemplazan.

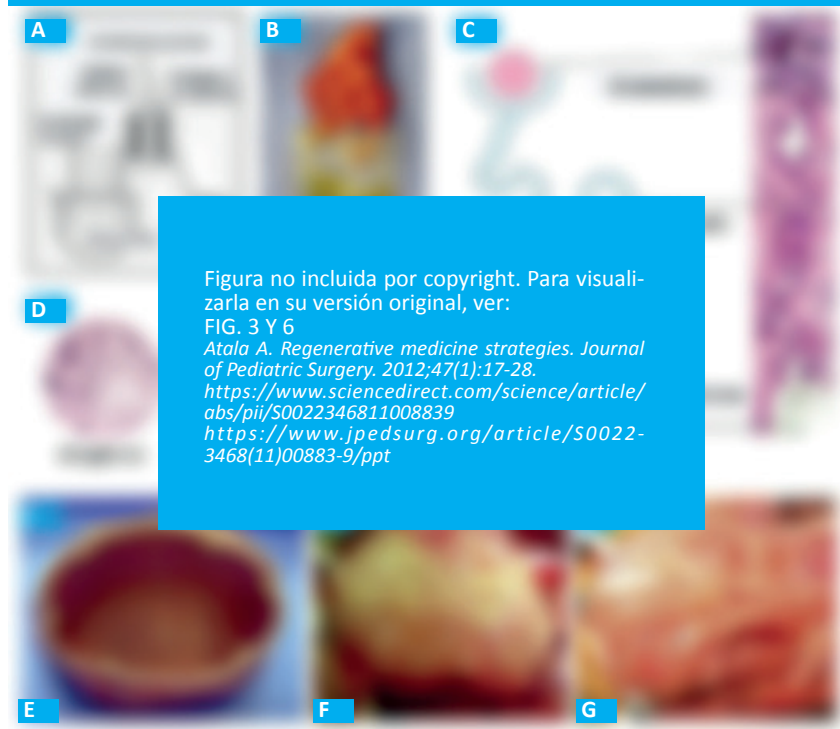
### Medicina regenerativa

La importancia de la medicina regenerativa radica en el alto ritmo de crecimiento del envejecimiento de la población mundial, ya que —a medida que aumenta la edad de las personas— sus órganos experimentan naturalmente una función reducida o deterioro de ella. Actualmente, las personas mayores de 65 años representan el 8,5% de la población mundial y se espera que alcance el 17% para 2050.

El fallo orgánico terminal por envejecimiento o por patologías favoreció el advenimiento de los trasplantes de órganos como una terapéutica efectiva. Sin embargo, los órganos son un bien finito y nos encontramos con un problema al intentar brindar tratamiento a una población cada vez más numerosa.

La medicina regenerativa, en la cual actualmente están en desarrollo métodos para reparar o reemplazar órganos sobre la base de células madre y bioimpresoras 3D, puede dar respuesta al problema. El desarrollo de terapias regenerativas se basa en el uso de biomateriales, células, moléculas bioactivas o sus combinaciones (Fig. 7).

■ FIGURA 7



Medicina regenerativa. Tejido renal combinando tejidos de clonación e ingeniería de tejidos (A, B, C, y D). A: ilustración de una unidad renal artificial. B: unidad renal con células clonadas luego de 3 meses con secreción de orina. C y D: histología de la unidad renal. Construcción de vejiga (E, F, y G). A: Material para la siembra de células. B y C: material ya sembrado e implantado en el cuerpo.

Figura no incluida por copyright. Para visualizarla en su versión original, ver: FIG. 3 Y 6

Atala A. Regenerative medicine strategies. *Journal of Pediatric Surgery*. 2012;47(1):17-28.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022346811008839>  
[https://www.jpedsurg.org/article/S0022-3468\(11\)00883-9/ppt](https://www.jpedsurg.org/article/S0022-3468(11)00883-9/ppt)

## Conclusiones

La innovación es fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías y técnicas quirúrgicas. La velocidad de los procesos innovativos se fue acelerando en las últimas décadas produciendo grandes avances en un corto tiempo.

Los procesos innovativos deben realizarse bajo estrictas normas y protocolos, incluyendo los deberes éticos, el respeto y la seguridad del paciente.

Los grandes avances tecnológicos en inteligencia artificial, robótica, imágenes y bioingeniería han cambiado los procesos innovativos y brindan instrumentos invaluable que aún están en desarrollo para el un nuevo concepto de cirujano moderno.

Los cirujanos del futuro tendrán que estar familiarizados con todas estas tecnologías, aplicarlas con ética y seguir los lineamientos adecuados. Los adelantos tecnológicos no debieran deshumanizar la relación médico paciente, donde el contacto humano y la

empatía siguen siendo el eje fundamental de la relación médico-paciente.

La cirugía del futuro será una especialidad híbrida que incluirá las imágenes, la terapia genética, la inteligencia artificial y la robótica. Sin duda, los procedimientos serán más seguros, menos invasivos y con resultados altamente predecibles.

Los resultados de la encuesta realizada a miembros de la AAC en cuanto a innovación y utilización de las últimas técnicas y tecnologías mostró que la gran mayoría de ellos se consideran innovadores y generalmente las aplican en forma temprana. Por el contrario, casi el 90% no está familiarizado con la inteligencia artificial, la robótica y otras tecnologías emergentes, muy posiblemente por la falta de acceso a estos adelantos debido a trabas económicas, logísticas y de implementación en sus lugares de trabajo.



## Bibliografía

- Ahmad Z, Rahim S, Zubair M, Abdul-Ghaffar J. Artificial intelligence (AI) in medicine, current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. A comprehensive review. *Diagn Pathol*. 2021;16(1):24. Published 2021 Mar 17. doi:10.1186/s13000-021-01085-4.
- Angelos P. Ethics and surgical innovation: challenges to the professionalism of surgeons. *Int J Surg*. 2013;11 (Suppl 1):S2-S5. doi:10.1016/S1743-9191(13)60003-5.
- Atala, A. Regenerative medicine strategies. *Journal of Pediatric Surgery*. 2012;47(1):17-28. doi:10.1016/j.jpedsurg.2011.10.013.
- Barquin Calderón M. Historia de la medicina. 8.<sup>a</sup> ed. México DF; Méndez editores; 1988.
- Barrs RW, Jia J, Silver SE, Yost M, Mei Y. Biomaterials for Bioprinting Microvasculature. *Chem Rev*. 2020;120(19):10887-949. doi:10.1021/acs.chemrev.0c00027.
- Bihorac A, Ozrazgat-Baslanti T, Ebadi A, et al. MySurgeryRisk: Development and Validation of a Machine-learning Risk Algorithm for Major Complications and Death After Surgery. *Ann Surg*. 2019;269(4):652-62. doi:10.1097/SLA.0000000000002706.
- Bini SA. Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, and Cognitive Computing: What Do These Terms Mean and How Will They Impact Health Care?. *J Arthroplasty*. 2018;33(8):2358-61. doi:10.1016/j.arth.2018.02.067.
- Birchley G, Ives J, Huxtable R, Blazeby J. Conceptualising Surgical Innovation: An Eliminativist Proposal. *Health Care Anal*. 2020;28(1):73-97. doi:10.1007/s10728-019-00380-y.
- Cervantes-Sánchez F, Maktabi M, Köhler H, Sucher R, Rayes N, Avina-Cervantes JG, et al. Automatic tissue segmentation of hyperspectral images in liver and head neck surgeries using machine learning. *Art Int Surg*. 2021;1:22-37. doi:10.20517/ais.2021.05.
- Cooter R. Surgery and Society in Peace and War. Organization of Modern Medicine, 1880-1948. London: Palgrave MacMillan; 1993.
- Cox DBT, Gootenberg JS, Abudayyeh OO, et al. RNA editing with CRISPR-Cas13. *Science*. 2017;358(6366):1019-27. doi:10.1126/science.aag0180.
- Dates LE, Maqueda S. El proyecto de ley para la creación de la Agencia Nacional de Evaluación de Tecnologías de la Salud (AGNET). 2019.
- Dzobo K, Adotey S, Thomford NE, Dzobo W. Integrating Artificial and Human Intelligence: A Partnership for Responsible Innovation in Biomedical Engineering and Medicine. *OMICS*. 2020;24(5):247-63. doi:10.1089/omi.2019.0038.
- El Hechi MW, Maurer LR, Levine J, et al. Validation of the Artificial Intelligence-Based Predictive Optimal Trees in Emergency Surgery Risk (POTTER) Calculator in Emergency General Surgery and Emergency Laparotomy Patients. *J Am Coll Surg*. 2021;232(6):912-9.e1. doi:10.1016/j.jamcollsurg.2021.02.009. Elmer P, Grell OP. Health, disease, and society in Europe. Manchester: Manchester University Press; 2004.
- Eyers T, Krastev Y. Ethics in Surgical Innovations from the Patient Perspective. *Yearb Med Inform*. 2020;29(1):169-75. doi:10.1055/s-0040-1701994.
- Fatimi A, Okoro OV, Podstawczyk D, Siminska-Stanny J, Shavandi A. Natural Hydrogel-Based Bio-Inks for 3D Bioprinting in Tissue Engineering: A Review. *Gels*. 2022;8(3):179. Published 2022 Mar 14. doi:10.3390/gels8030179.
- Gaudelli NM, Komor AC, Rees HA, et al. Programmable base editing of A•T to G•C in genomic DNA without DNA cleavage [published correction appears in *Nature*. 2018 [May 2]. *Nature*. 2017;551(7681):464-71. doi:10.1038/nature24644.
- Giddings AE. The history of thyroidectomy. *J R Soc Med*. 1998;91 (Suppl 33):3-6. doi:10.1177/014107689809133502.
- Gupta S, Muskens IS, Fandino LB, Hulsbergen AFC, Broekman MLD. Oversight in Surgical Innovation: A Response to Ethical Challenges. *World J Surg*. 2018;42(9):2773-80. doi:10.1007/s00268-018-4565-2.
- Guzzeloni V, Veschini L, Pedica F, Ferrero E, Ferrarini M. 3D Models as a Tool to Assess the Anti-Tumor Efficacy of Therapeutic Antibodies: Advantages and Limitations. *Antibodies*. 2022;11(3):46. doi:10.3390/antib11030046.
- Haeger K. The Illustrated History of Surgery. 2<sup>nd</sup>. ed. Harold Starke Publishers; 1988.
- Hannan SA. The magnificent seven: a history of modern thyroid surgery. *Int J Surg*. 2006;4(3):187-191. doi:10.1016/j.ijsu.2006.03.002.
- Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Ann Surg*. 2018;268(1):70-6. doi:10.1097/SLA.0000000000002693.
- Hashimoto DA, Ward TM, Meireles OR. The Role of Artificial Intelligence in Surgery. *Adv Surg*. 2020;54:89-101. doi:10.1016/j.yasu.2020.05.010.
- Himmelman L. From barber to surgeon- the process of professionalization. *Sven Med Tidskr*. 2007;11(1):69-87.
- Hirst A, Philippou Y, Blazeby J, et al. No Surgical Innovation without Evaluation: Evolution and Further Development of the IDEAL Framework and Recommendations. *Ann Surg*. 2019;269(2):211-20. doi:10.1097/SLA.0000000000002794.
- Hollingham R. Blood and Guts: a History of Surgery. London: BBC Books; 2008.
- Horn L, Johnson DH. Ephraim McDowell, the first ovariectomy, and the birth of abdominal surgery. *J Clin Oncol*. 2010;28(7):1262-8. doi:10.1200/JCO.2009.25.7261.
- Hutchison K, Rogers W, Eyers A, Lotz M. Getting Clearer About Surgical Innovation: A New Definition and a New Tool to Support Responsible Practice. *Ann Surg*. 2015;262(6):949-54. doi:10.1097/SLA.0000000000001174.
- Joy MT, Ben Assayag E, Shabashov-Stone D, et al. CCR5 Is a Therapeutic Target for Recovery after Stroke and Traumatic Brain Injury. *Cell*. 2019;176(5):1143-57.e13. doi:10.1016/j.cell.2019.01.044.
- Kocher ET. Concerning pathological manifestations in low-grade thyroid diseases. Nobel Lecture, December 11, 1909.
- Kopp P. Theodor Kocher (1841-1917) Nobel prize centenary 2009. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2009;53(9):1176-80. doi:10.1590/s0004-27302009000900015.
- Leopardi LN, Maddern GJ. Pablo Luis Mirizzi: the man behind the syndrome. *ANZ J Surg*. 2007;77(12):1062-4. doi:10.1111/j.1445-2197.2007.04325.x.
- Lifschitz E y cols. Agencia de evaluación de tecnologías sanitarias en Argentina- 1.a ed. adaptada. Buenos Aires: Ed. Fundación Sanatorio Güemes; 2018.
- Lifschitz E, Martich E, Tobar S, Watman R. Agencias de evaluación de tecnologías sanitarias. Lecciones aprendidas en países de Latinoamérica y Europa. Buenos Aires: Ed. Fundación Sanatorio Güemes; 2017.
- Liston R, Mutter TD. Lectures on the operations of surgery and on diseases and accidents requiring operations. Philadelphia: Lea & Blanchard; 1846.
- Loftus TJ, Filiberto AC, Balch J, et al. Intelligent, Autonomous Machines in Surgery. *J Surg Res*. 2020;253:92-9. doi:10.1016/j.jss.2020.03.046.
- Maassen O, Fritsch S, Palm J, et al. Future Medical Artificial Intelligence Application Requirements and Expectations of Physicians in German University Hospitals: Web-Based Survey. *J Med Internet Res*. 2021;23(3):e26646. Published 2021 Mar 5. doi:10.2196/26646.
- Magner LN. A History of Medicine. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 1992.
- Mansberger AR Jr. One hundred years of surgical management of hyperthyroidism. *Ann Surg*. 1988;207(6):724-9. doi:10.1097/0000658-198806000-00012.
- Mao AS, Mooney DJ. Regenerative medicine: Current therapies and future directions. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2015;112(47):14452-9. doi:10.1073/pnas.1508520112.
- McCallum J. Military Medicine: From Ancient Times to the 21st Century. Washington: ABC-CLIO; 2008.
- McCulloch P, Altman DG, Campbell WB, et al. No surgical innovation without evaluation: the ideal recommendations. *Lancet*. 2009;374:1105-12. doi:10.1016/S0140-6736(09)61116-8.
- McKneally MF. The ethics of innovation: Columbus and others try something new. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2011;141(4):863-6. doi:10.1016/j.jtcvs.2011.01.003.



- Mirnezami R, Ahmed A. Surgery 3.0, artificial intelligence and the next-generation surgeon. *Br J Surg*. 2018;105(5):463-5. doi:10.1002/bjs.10860
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; National Academy of Medicine; National Academy of Sciences; Committee on Human Gene Editing: Scientific, Medical, and Ethical Considerations. *Human Genome Editing: Science, Ethics, and Governance*. Washington (DC): National Academies Press (US); 2017.
- Orr G. Diffusion of innovations, by Everett Rogers (1995). Stanford University; 2003.
- O'Sullivan S, Leonard S, Holzinger A, et al. Operational framework and training standard requirements for AI-empowered robotic surgery. *Int J Med Robot*. 2020;16(5):1-13. doi:10.1002/rcs.2020.
- O'Sullivan S, Nevejans N, Allen C, et al. Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence (AI) and autonomous robotic surgery. *Int J Med Robot*. 2019;15(1):e1968. doi:10.1002/rcs.1968.
- Pennell CP, Hirst AD, Campbell WB, et al. Practical guide to the idea, development and exploration stages of the ideal framework and recommendations. *Br J Surg* 2016;103:607-15. doi:10.1002/bjs.10115.
- Pérez OF. De los albores a los albores: un recorrido por la historia de la medicina. 2.ª ed. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2011.
- Porter R. *Blood and Guts: A Short History of Medicine*. Cambridge University Press; 2004.
- Porter R. *The Cambridge Illustrated History of Medicine*. Cambridge University Press; 2001.
- Robinson V. *The Story Of Medicine*. Whitefish, MT: Kessinger Publishing; 2005.
- Rogers WA, Hutchison K, McNair A. Ethical Issues Across the IDEAL Stages of Surgical Innovation. *Ann Surg*. 2019;269(2):229-33. doi:10.1097/SLA.0000000000003106.
- Rogers EM, Singhal A, Quinlan MM. Diffusion of innovations. An integrated approach to communication theory and research. New York: Routledge; 2014.
- Saeidi H, Opfermann JD, Kam M, et al. Autonomous robotic laparoscopic surgery for intestinal anastomosis. *Sci Robot*. 2022;7(62):eabj2908. doi:10.1126/scirobotics.abj2908.
- Sakamoto T, Goto T, Fujiogi M, Kawarai Lefor A. Machine learning in gastrointestinal surgery. *Surg Today*. 2022;52(7):995-1007. doi:10.1007/s00595-021-02380-9.
- Schneider D. *The Invention of Surgery: a History of Modern Medicine: From the Renaissance to the Implant Revolution*. New York: Pegasus Books; 2020.
- Schwartz JA. Innovation in pediatric surgery: the surgical innovation continuum and the ETHICAL model. *J Pediatr Surg*. 2014;49(4):639-45. doi:10.1016/j.jpedsurg.2013.12.016.
- Shiffman, Melvin. *Cosmetic Surgery: Art and Techniques*. Berlin Heidelberg: Springer; 2012.
- Soetedjo AAP, Lee JM, Lau HH, et al. Tissue engineering and 3D printing of bioartificial pancreas for regenerative medicine in diabetes. *Trends Endocrinol Metab*. 2021;32(8):609-22. doi:10.1016/j.tem.2021.05.007.
- Solanki SL, Pandrowala S, Nayak A, Bhandare M, Ambulkar RP, Shrikhande SV. Artificial intelligence in perioperative management of major gastrointestinal surgeries. *World J Gastroenterol*. 2021;27(21):2758-70. doi:10.3748/wjg.v27.i21.2758
- Szlachta K, Kuscu C, Tufan T, Adair SJ, Shang S, Michaels AD, et al. CRISPR knockout screening identifies combinatorial drug targets in pancreatic cancer and models cellular drug response. *Nat Commun*. 2018;9(1):4275. doi:10.1038/s41467-018-06676-2.
- Tamalvanan V. Pragmatism in transforming surgical workplace with artificial intelligence. *Art Int Surg*. 2022;2:1. doi:10.20517/ais.2021.09.
- Tarassoli SP. Artificial intelligence, regenerative surgery, robotics? What is realistic for the future of surgery?. *Ann Med Surg (Lond)*. 2019;41:53-5. Published 2019 Apr 17. doi:10.1016/j.amsu.2019.04.001.
- Thorndike L. *A History of Magic and Experimental Science: Fourteenth and fifteenth centuries*. Columbia University Press; 2008.
- Toledo-Pereyra LH. *Innovation and Discovery on Surgery, History and Humanities*. Landes Bioscience, Boca Raton: CRC Press; 2009.
- Toledo-Pereyra LH. *Origins of the Knife Early Encounters with the History of Surgery*. Landes Bioscience, Boca Raton: CRC Press; 2006.
- Valente TW, Rogers EM. The origins and development of the diffusion of innovations paradigm as an example of scientific growth. *Sci Commun*. 1995;16(3):242-73.
- Van de Laar A. *Under the Knife: A History of Surgery*. London: John Murray Publishers, Ltd; 2014.
- Veerankutty FH, Jayan G, Yadav MK, et al. Artificial Intelligence in hepatology, liver surgery and transplantation: Emerging applications and frontiers of research. *World J Hepatol*. 2021;13(12):1977-90. doi:10.4254/wjh.v13.i12.1977.
- Veith I, et al. *Great Ideas in the History of Surgery*. Novato, CA: Jeremy Norman Co; 1993.
- Wellbourn, Richard. *A history of endocrine surgery*. New York: Praeger; 1990.
- Xiang Y, Zhao L, Liu Z, et al. Implementation of artificial intelligence in medicine: Status analysis and development suggestions. *Artif Intell Med*. 2020;102:101780. doi:10.1016/j.artmed.2019.101780.
- Zimmermann, L.; Veith, I. *Great ideas in the history of surgery*, Baltimore, 1961.

