

Revisión

# Ingeniería y Medicina: cuando uno más uno suma más que dos

Antonio Portilla Figueras <sup>1,\*</sup>, Silvia Jiménez Fernández <sup>2</sup>, Luis Miguel Moreno Saavedra <sup>3</sup>, Sancho Salcedo Sanz <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Alcalá, antonio.portilla@uah.es; <https://orcid.org/0000-0001-6569-6780>; silvia.jimenez@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-2065-1754>; luismiguel.moreno@uah.es; <https://orcid.org/0009-0004-9211-8491>; sancho.salcedo@uah.es; <https://orcid.org/0000-0002-4048-1676>

\* Autor correspondencia: antonio.portilla@uah.es; <https://orcid.org/0000-0001-6569-6780>

DOI: <https://doi.org/10.37536/RIECS.2023.8.1.372>

---

**Resumen:** La historia de los avances médicos está ligada al desarrollo de la ingeniería. No en pocas ocasiones, los avances en el conocimiento científico-médico han ido por delante de lo que la tecnología podía ofrecer y ha sido sólo, después de años de desarrollo, cuando se ha podido implementar el instrumento que satisfacía las necesidades concretas. En este artículo se pone de manifiesto la simbiosis entre la ingeniería y la medicina a lo largo de la historia y se centra en los avances significativos que han ocurrido en tres tecnologías clave en los últimos años: la robótica, las comunicaciones móviles 5G y la inteligencia artificial. Todo ello con aplicación, principalmente, al ámbito de la cirugía por ser, quizás, uno de los ámbitos donde ésta resulta más impactante. Además, se proporcionarán las claves fundamentales para poder entender el impacto actual y futuro de estas tecnologías.

**Palabras Clave:** Ingeniería y Salud, TIC, Comunicaciones Móviles 5G, Inteligencia Artificial, Robótica, Cirugía.

**Abstract:** The history of medical advances is inevitably linked to the developments achieved in engineering. On many occasions, advances in scientific-medical knowledge have gone ahead of what technology could offer, and it has only been, after years of development, that it has been possible to implement the instrument that satisfies the specific needs. This article highlights the symbiosis between engineering and medicine throughout history and focuses on the significant advances that have occurred in three key technologies in recent years: robotics, 5G mobile communications, and artificial intelligence. All this mainly applied to the field of surgery as it is, perhaps, one of the fields where it is most impressive. In addition, fundamental keys to understand the current and future impact of these technologies will be outlined.

**Key words:** Engineering and Health, ICT, 5G Mobile Communications, Artificial Intelligence, Robotics, Surgery.

---

## 1. Introducción

La medicina es, quizás, una de las mayores manifestaciones del ser humano, pues combina el conocimiento y el saber científico, con la aplicación práctica de lo aprendido y experimentado, siempre con el objetivo último de demostrar uno de nuestros sentimientos más elevados, puede que el que más, que es el cuidado a nuestro prójimo, a nuestros semejantes, mediante la sanación de los males, el alivio del padecimiento y el acompañamiento y la comprensión. Sin embargo, en muchas ocasiones, el progreso de la medicina se ha visto frenado tanto a nivel del conocimiento como de su aplicación práctica, por no tener las herramientas tecnológicas necesarias, bien sea porque no se

habían diseñado, bien sea porque su construcción se hacía imposible con los medios técnicos disponibles. Se produce, por tanto, una sinergia entre la ingeniería, que dota de herramientas que permiten mejorar el diagnóstico y el tratamiento, y la medicina, que no solo se beneficia de una mejora en el acto médico, sino que da sentido y finalidad al desarrollo tecnológico. Este caminar juntas de dos ramas de conocimiento bien diferenciadas, viene de tiempos pretéritos, aunque pueda pareceros que esta relación sólo ha existido en las últimas décadas, con el afloramiento de tecnologías como la robótica, las comunicaciones y la inteligencia artificial. El objetivo de este artículo es poner de manifiesto esta relación a lo largo de los tiempos, identificar las tecnologías clave que actualmente están modificando la manera de entender la medicina, así como exponer algunos ejemplos y proyectos concretos de la aplicación de éstas.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera. El siguiente capítulo mostrará los desarrollos tecnológicos más relevantes en la historia de la medicina, ya sea por su complejidad ya sea por su impacto en la sociedad. El capítulo tercero identificará algunas de las tecnologías con mayor incidencia y las razones de su relevancia en el ámbito médico y mostrará algunos proyectos específicos que implementan estas tecnologías. Para cerrar el artículo, se establecerán unas conclusiones sobre de la simbiosis entre estas disciplinas.

## 2. 2. El desarrollo tecnológico en la medicina: desde los tiempos antiguos a los sistemas basados en las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC)

La aplicación de la tecnología para el diseño y creación de instrumental que satisfaga las necesidades médicas tiene miles de años de historia. Los primeros instrumentos quirúrgicos de los que se tiene constancia se remontan a Egipto, concretamente al Imperio Antiguo (3000-2500 a.C.) donde se describen instrumentos para realizar amputaciones o trepanaciones [1]. El propio Hipócrates, el padre de la medicina, ya demostró sobradas capacidades quirúrgicas para las que se necesitaba un instrumental tecnológicamente muy refinado [2,3]. El imperio Romano, heredero del conocimiento helenístico, continuó mejorando estos elementos, en gran parte para aumentar la esperanza de supervivencia de sus legionarios y auxiliares heridos en combate, como muestran los restos hallados en Bingen (Alemania), entre los que se encontró una sierra de corona para la realización de trepanaciones [4] o recreaciones de escenas de actos médicos como el representado en la Figura 1.



**Figura 1.** Fresco encontrado en la casa de Publius Vedio Siricus en Pompeya y que muestra al médico Lapix con unas pinzas extrayendo una punta de flecha a Eneas.

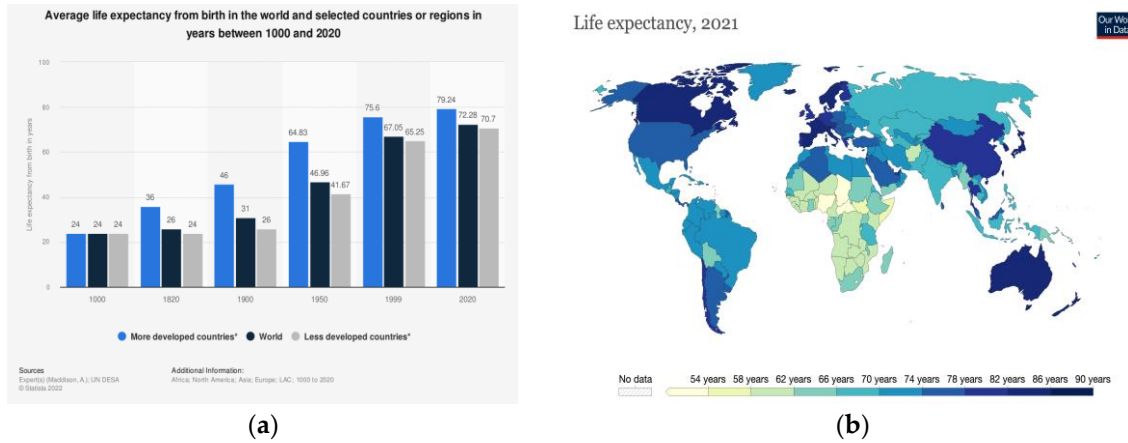
El periodo medieval no fue tan oscuro en el desarrollo tecnológico como tradicionalmente se cree, y la influencia de las escuelas árabes produjo mejoras notables en el instrumental, más concretamente en la cirugía en el campo de batalla, tal como se indica en [5]. Sin embargo, y por motivos de simplicidad, debemos dar grandes saltos temporales para acercarnos a los tiempos actuales. Así, resulta imprescindible mencionar la invención del microscopio, atribuida principalmente a Zacarías Jansenn en 1590, al cual podríamos definir como un ingeniero óptico-optométrico dedicado a la fabricación de lentes y gafas. La aportación del microscopio al estudio de la estructura biológica es innegable y permitió, entre otros, el descubrimiento de los glóbulos rojos en 1670 o el descubrimiento de las neuronas, ya en el siglo XX, por nuestro Premio Nobel Ramón y Cajal.

A partir del siglo XIX el desarrollo tecnológico se acelera, en 1816 René Laennec inventa el estetoscopio. En 1886 Augustus Desiderius Waller realiza el primer electrocardiograma. En 1895 el físico alemán Wilhelm Rontgen descubre los Rayos X y en 1914 la ganadora de dos Premios Nobel Marie Curie<sup>1</sup> creó el primer aparato de Rayos X portátil, que permitió salvar la vida de miles de soldados durante la Primera Guerra Mundial. En el año 1927 Paul Drinker desarrolla su respirador Drinker o pulmón de acero. En 1944 Willem Kolff desarrolla su máquina de hemodiálisis o riñón artificial y en la década de los 50 se inventan los marcapasos. Y de repente, en este ritmo frenético, aparece el transistor de semiconductor que permite la miniaturización y el desarrollo exponencial de la computación, que habilitó mejoras sustanciales en el diagnóstico, tratamiento y también en la investigación y en la gestión de la información. En 1972 Raymond Damadian desarrolla la primera máquina de resonancia magnética. Los avances en los materiales permitieron la aparición de las lentes blandas de contacto a finales de los años 70. En 1983 el biofísico estadounidense Norman Holter inventa el dispositivo que lleva su nombre para la vigilancia de la actividad eléctrica del corazón. En los años 2000, y gracias al auge de las comunicaciones, aparece el concepto de la telemedicina y en el año 2014 la FDA aprueba los primeros ensayos clínicos en humanos de un riñón artificial portátil diseñado por Blood Purification Technologies Inc.

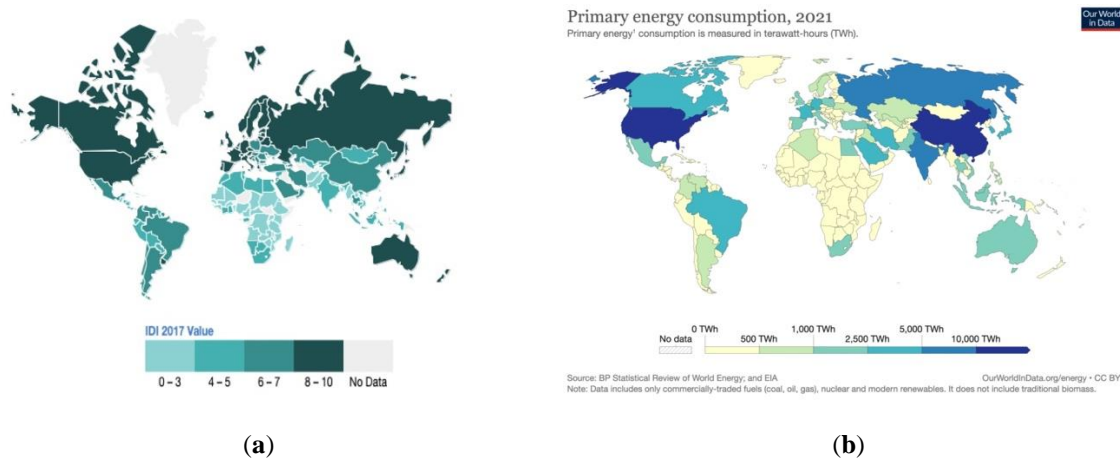
Estos son algunos de los muchos avances tecnológicos significativos en esta fructífera relación entre tecnología y medicina, que incluso ha dado lugar a una nueva disciplina, la bioingeniería. Sin embargo, lo más importante desde todo punto de vista, son las significativas mejoras en la esperanza de vida. Para analizar este hecho se muestra la Figura 2, donde puede observarse la evolución de la esperanza de vida de los años 1000 al 2020 y el mapa mundial en el año 2021. En la Figura 3 (a) se muestra el mapa mundial del índice de desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), publicado por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), en el año 2017. Y en la Figura 3 (b) se muestra el consumo energético por país, directamente ligado con el desarrollo tecnológico e industrial. Analizando la correspondencia entre estos datos, con independencia de otros factores adicionales, se observa que existe una correlación directa entre el desarrollo tecnológico y la esperanza de vida. En pocas palabras, a mayor tecnología, mejor cuidado médico global, mayor y mejor esperanza de vida.

---

<sup>1</sup> Es importante remarcar que sólo 4 personas en toda la historia han obtenido dos Premios Nobel: John Bardeen, Marie Curie, Linus Pauling y Frederick Sanger.



**Figura 2.** Esperanza de vida por países: (a) Esperanza media de vida entre los años 1000 y 2020 [6]; (b) Esperanza de vida en el año 2021 a nivel mundial [7].



**Figura 3.** (a) Mapa mundial del índice de desarrollo tecnológico de las TIC en el año 2017 [8]; (b) Consumo energético en el año 2021 [9].

### 3. Tendencias tecnológicas actuales

La explosión de la digitalización, la aparición de los nanomateriales, el uso extensivo de la automatización, las técnicas de procesamiento de señal (imagen y sonido), la aplicación de la radiofrecuencia, las tecnologías de realidad aumentada, virtual y extendida o la tan nombrada inteligencia artificial, son solo algunas de las tendencias tecnológicas que tienen y tendrán un impacto significativo en el ámbito de la medicina en el futuro más próximo [10]. En este artículo nos centraremos en tres de ellas que, por su trascendencia y transversalidad, consideramos que pueden ser las más significativas: la cirugía robótica, las comunicaciones móviles 5G y la inteligencia artificial.

#### 3.1. Cirugía Robotizada

La automatización y la robótica han sido un factor clave en el desarrollo en las últimas décadas en terrenos como el sector industrial, el aeroespacial, la agricultura y, por supuesto, también en el ámbito médico-quirúrgico. La evolución hacia una cirugía mínimamente invasiva (MIS, *Minimally Invasive Surgery*, por sus siglas en inglés) tiene, por otra parte, retos importantes a los que se enfrenta el cirujano, como una adecuada maniobrabilidad y flexibilidad del instrumental, correcto posicionamiento y, por supuesto, la falta de la retroalimentación que ofrece el cuerpo humano, al no tener “tacto” con el paciente. Estos problemas son parcialmente resueltos mediante el uso de la robótica. Un robot, es un sistema mecatrónico (que combina mecanismos, computación y electrónica)

y que puede ser operado de manera manual o programado para realizar una determinada secuencia de acciones de manera automática. Adicionalmente, para favorecer el aprendizaje de los cirujanos en el uso de la tecnología y para adquirir la realimentación necesaria para efectuar el acto quirúrgico, también resulta importante lo que se conoce como aprendizaje mejorado mediante tecnología (TEL, *Technology Enhanced Learning*).

La cirugía mediante el uso de robots aporta ventajas importantes, como menor tamaño de incisión y menores secuelas en la recuperación, menor sangrado, menor riesgo de infección, menor tiempo de estancia hospitalaria, así como mejor visualización gracias al uso de sistemas 3D y contextualización mediante realidad aumentada. Los inconvenientes de estos sistemas están relacionados principalmente con el coste de adquisición y mantenimiento de los sistemas, la latencia (retraso) en el movimiento y la curva de aprendizaje por parte del personal. También la posibilidad, muy pequeña, de que existan errores en el funcionamiento del sistema.

La robótica comenzó a ser empleada en cirugía en los años 70 del siglo XX, como un proyecto militar de la NASA financiado por DARPA<sup>2</sup> para permitir la realización de cirugías en misiones espaciales, catástrofes naturales o para soldados en los campos de batalla [11]. Desde entonces ha habido una rápida evolución, tal y como se puede observar en la Figura 4. Asimismo, una lista no exhaustiva de aplicaciones de los procedimientos donde actualmente se emplean robots quirúrgicos se muestra en la Tabla I.

La pandemia COVID-19 nos ha enseñado también que debemos diseñar e implementar métodos para proteger a nuestro personal sanitario ante situaciones complejas de controlar, pero que requieren de su atención. De esta manera, el uso de robots en los procedimientos quirúrgicos en situaciones potencialmente peligrosas contribuye a la reducción del estrés sanitario, a la reducción del contacto con el paciente y, por lo tanto, a la minimización de la posibilidad de transmisión de determinadas enfermedades, proporcionando la capacidad de trabajar a máximo rendimiento en momentos extraordinarios [12].

Aunque los primeros pasos en la robótica quirúrgica se dieron con el robot PUMA (*Programmable Universal Machine for Assembly 200*) en 1985 y después con la plataforma ZRSS (*ZEUS Robotic Surgical System*) en 1998, el robot más conocido y hegemónico dentro del estado del arte es Da Vinci Xi, la plataforma desarrollada por la empresa Intuitive Surgical en 2014, de la cual hay actualmente más de 5700 unidades en Europa y Estados Unidos [13]. Existen otras compañías que están actualmente desarrollando nuevas plataformas, como SPORT de Titan Medical o Monarch de Johnson and Johnson.

El futuro de estos robots pasa por la introducción de mejoras tanto en el hardware como en el software. La inteligencia artificial, de la cual hablaremos más tarde, la introducción de sistemas de realidad aumentada, la miniaturización de los instrumentos, la mejora en los acoples, la sustitución automática de instrumentos y la integración con imágenes radiológicas son algunos de los retos a afrontar en el futuro inmediato.

Finalmente, es importante resaltar que, aunque en esta sección nos hayamos centrado en la aplicación práctica de la robótica en la cirugía, existen otros ámbitos médicos en los que la robótica tiene aplicación, como, por ejemplo, la rehabilitación, la asistencia médica (diagnóstico) o los servicios hospitalarios (desinfección, farmacia) [15].

---

<sup>2</sup> La misma entidad que financió el proyecto que originó Internet.

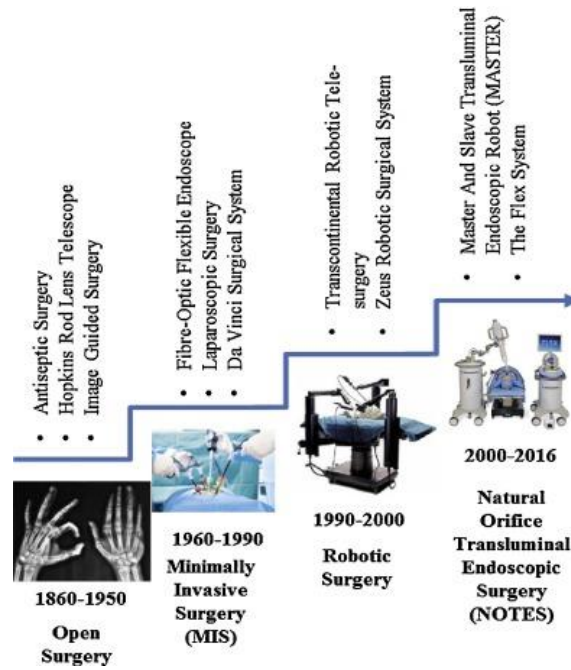


Figura 4. Hitos relevantes en el desarrollo de la robótica quirúrgica [14].

Tabla I. Lista de aplicaciones con empleo de robots quirúrgicos.

Aplicación quirúrgica	Procedimiento quirúrgico
Cirugía coronaria	Reparación defectos paredes auriculares
	Eliminación de tumores coronarios
	Reparación de válvula mitral
	Reparación de la válvula tricúspide
Cirugía gastrointestinal	Colectomía
	Pancreatectomía
	Bypass gástrico
	Proctomía
Cirugía general	Gastrectomía
	Apendectomía
	Extracción de vesícula biliar
Ginecología	Operación de hernia
	Endometriosis
	Histerectomía
Cirugía Torácica	Prolapso de órganos pélvicos
	Cirugía pulmonar
	Tumores mediastinales
Urología	Timectomía
	Cistectomía
	Nefrectomía
	Prostatectomía
	Injerto nervio sural

### 3.2. Comunicaciones móviles 5G

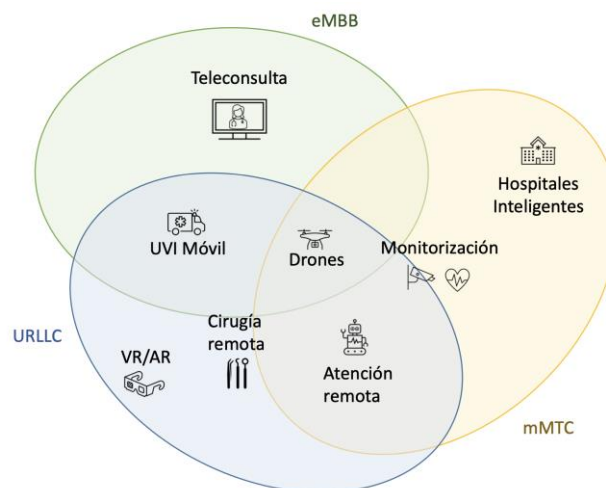
Los sistemas de comunicaciones móviles de quinta generación, conocidos popularmente como 5G, suponen una revolución en la manera de comunicarnos. De hecho, en palabras de Mario Campolargo, ex Director General Adjunto de la Comisión Europea “5G no es 4G+1”.

Las diferencias entre las tecnologías de comunicación móvil de cuarta y quinta generación (conocidas como 4G y 5G, respectivamente) no son solo en la velocidad de datos, sino que suponen una revolución en la arquitectura del sistema, dado que buscan una latencia (tiempo desde que se envían los datos hasta que estos llegan a su destino) extremadamente baja, una fiabilidad del sistema cercana al 100%, un consumo energético mucho menor que en la anterior generación de comunicaciones móviles y un elevado número de dispositivos conectados a la red. En la Tabla II se muestra una comparativa entre las características más relevantes desde el punto de vista médico entre los actuales sistemas de cuarta y quinta generación de comunicaciones móviles.

**Tabla II.** Características más relevantes de la tecnología 5G y su mejora frente a 4G.

Parámetro	5G	4G
Velocidad de datos	20 Gbps	1 Gbps
Latencia	< 5 milisegundos	25 ms
Fiabilidad	99.999%	99.99%
Conectividad de dispositivos	1 millón por km <sup>2</sup>	1000 por km <sup>2</sup>
Eficiencia energética	10% del consumo actual de 4G.	

Asimismo, la tecnología 5G define tres grandes escenarios de aplicación donde implementar estas características: la banda ancha mejorada eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*), las comunicaciones ultraconfiables de baja latencia URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communications*) y las comunicaciones masivas entre máquinas mMTC (*massive Machine Type Communications*). Algunas de las aplicaciones concretas del ámbito sanitario de cada una se muestran la Figura 5.



**Figura 5.** Aplicaciones del ámbito sanitario considerando los diferentes escenarios propuestos en 5G. Fuente: elaboración propia.

El uso de la tecnología 5G por las diferentes aplicaciones o casos de uso se ha estructurado en lo que se denominan “verticales”. Así, el Observatorio Nacional de 5G (ON5G) [16] detectó un total de 11 verticales (energía, comercio, agricultura, automoción...) en la que ocupan un puesto destacado las aplicaciones médico-sanitarias. Estas aplicaciones se pueden englobar en una escala cuantitativa respecto a sus necesidades de los diferentes atributos técnicos que ofrece la tecnología 5G, tal y como establecen tanto el ON5G, como el 5G *Public-Private Partnership Project* (5GPPP) [17].

Así se fija la siguiente escala de requisitos:

- 0: Sin requisitos técnicos específicos de comunicaciones móviles.
- 1: Bajo nivel de requisitos técnicos de comunicaciones móviles.
- 2: Nivel medio, que puede ser satisfechos con sistemas previos de comunicaciones móviles (como 4G).
- 3: Nivel alto, que está en el límite o no puede ser satisfecho con los sistemas previos a 5G.
- 4: Nivel muy alto de prestaciones, que sólo puede satisfacer 5G o sistemas posteriores.

La Tabla III muestra la relación entre las diferentes características técnicas de la tecnología 5G (velocidad de datos, latencia, fiabilidad, etc.) y los requisitos de los principales casos de uso médico-sanitarios, donde estos se establecen de acuerdo con la escala previa.

**Tabla III** Relación entre las diferentes características técnicas del sistema de comunicaciones móviles 5G y los requisitos de los principales casos de uso médico-sanitarios. Leyenda: 0 (sin requisitos), 1 (bajo), 2 (medio), 3 (alto), 4 (muy alto). Fuente: elaboración propia basada en [16,17,18]

Caso de uso	Velocidad de datos	Movilidad	Baja Latencia	Densidad de Terminales	Fiabilidad	Disponibilidad	Seguridad del sistema
Atención remota y Monitorización	3	3	4	4	3	3	3
Ambulancias y UVI móvil	4	3	4	2	4	4	3
Consulta Virtual	3	2	3	3	3	3	3
Realidad virtual y aumentada	3	3	4	3	4	3	3
Cirugía Robótica	4	2	4	2	4	4	4
Gestión de la información y Sistemas Cloud	3	2	3	3	4	4	4

Como se puede observar, las aplicaciones tecnológicas más innovadoras son muy restrictivas en términos de los requisitos técnicos necesarios para hacerlas funcionar. De hecho, como se mencionaba en la sección 3.1, uno de los mayores problemas de la cirugía asistida por robots y que la tecnología 5G viene a solventar es, precisamente, la baja latencia necesaria [19].

Otras aplicaciones médicas concretas, como el diagnóstico por ultrasonidos, se han realizado cubriendo distancias que superan, en muchos casos, los cientos de kilómetros, con latencias en el rango de milisegundos y velocidades de bajada (del sistema a usuario) que rozan los Gbps (mil millones de bits enviados cada segundo) [20].

El futuro de la aplicación de los sistemas 5G en el campo de la medicina y la salud pasa por la ampliación de su uso para situaciones de emergencia, ya sean individuales (ataques al corazón, ictus) o globales (catástrofes), la formación específica gracias a la realidad aumentada (*Augmented Reality*) o la realidad virtual (*Virtual Reality*), la mejora en la atención a los mayores (envejecimiento inteligente o *smart aging*), el transporte médico urgente mediante drones [21] o la comunicación con dispositivos nanométricos de la que también hablaremos en este artículo.

### 3.3. Inteligencia artificial y Big Data.

## 4. Conclusiones

A lo largo de este artículo se ha intentado describir la estrecha relación que existe entre las disciplinas de la ingeniería y la medicina, relevante a lo largo de la historia y extraordinariamente fundamental en los últimos 20 años. Se han presentado y proporcionado ejemplos de aplicación en tres tecnologías punteras y relevantes: la robótica, la inteligencia artificial y las comunicaciones móviles 5G, con la intención de mostrar, además, la clara interrelación que hay entre ellas. Poniendo



el foco en cómo la evolución de una produce el desarrollo y mejora de la otra, y en cómo ambas redundan en un mejor cuidado del paciente.

El campo de intervención médica es tan amplio que el enfoque de este artículo de revisión ha tenido que ser acotado. Por supuesto, existen otras tecnologías [32] que serán tendencia en los próximos años y que no podemos dejar de nombrar, como son IoMT (Internet of the Medical Things), blockchain, los avances en impresión 3D de instrumentos y actuadores, el procesado de lenguaje natural, la enfermería virtual para cuidado asistencial o las tecnologías nanométricas, en las que, por cierto, la Universidad de Alcalá está teniendo un papel destacado [33].

Esta simbiosis entre medicina e ingeniería está requiriendo cada vez más profesionales formados en ambos ámbitos, pues aún con toda la voluntad de dos hermanos deseando entenderse, el lenguaje y la estructura mental de las ingenierías (centradas en el análisis y actuación sobre equipos) difieren significativamente de los de un profesional sanitario (cuyo objetivo es el cuidado de un paciente humano). Es por ello por lo que la Universidad debe dar respuesta a la formación de estos profesionales, que necesitan la multidisciplinariedad e integración entre las ingenierías (de telecomunicación, industrial e informática, principalmente) con el ámbito sanitario.

Para finalizar, cabe destacar que el beneficio que la interrelación de estas dos disciplinas está produciendo la una en la otra es innegable. La ingeniería dota a la medicina de mejores instrumentos, capacidades de análisis y diagnóstico, de interpretación de resultados y de capacidades de actuación y la medicina dota a la ingeniería de los tan necesitados casos de uso, de las aplicaciones y de los retos a superar, es decir de un fin en sí mismo. Y todo ello redundando en nosotros, los pacientes, los humanos, que, gracias a ellas, podemos vivir mejor y más tiempo. De aquí que, en ocasiones como ésta, uno más uno suma más que dos.

**Agradecimientos:** Este artículo ha sido desarrollado gracias al Observatorio ISDEFE-UAH en TIC e Inteligencia Artificial.

**Conflictos de Intereses:** "Los autores no declaran conflicto de intereses".

## Abreviaturas

Las siguientes abreviaturas son usadas en este manuscrito:

4G: Cuarta generación de comunicaciones móviles.

5G: Quinta generación de comunicaciones móviles.

5GPPP: Proyecto de Iniciativa Público Privada para el desarrollo de infraestructura 5G.

AR: Augmented reality (realidad aumentada).

DARPA: Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa.

eMBB: Enhanced Mobile Broadband (banda ancha de datos móviles mejorada).

FDA: Food and Drug Administration (Administración de Alimentos y Medicamentos).

IA: Inteligencia artificial.

IoMT: Internet of the Medical Things (Internet de las cosas médicas).

MIS: Minimal Invasive Surgery (Cirugía Mínimamente Invasiva).

mMTC: massive Machine Type Communications (comunicaciones masivas máquina a máquina).

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio.

ON5G: Observatorio Nacional de 5G.

PUMA: Programmable Universal Machine for Assembly (máquina universal programable para montaje).

RF: Random Forests (bosques aleatorios).

SVM: Support Vector Machines (máquinas de vectores soporte).

TEL: Technology Enhanced Learning (aprendizaje mejorado con tecnología).

TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

UIT: Unión Internacional de las Telecomunicaciones.

URLLC: Ultra Reliable Low Latency Communications (Comunicaciones ultra fiables de baja latencia).

VR: Virtual reality (Realidad Virtual).

ZRS: ZEUS Robotical Surgical System (sistema quirúrgico robótico ZEUS).

## Referencias Bibliográficas

1. de la Garza L. Bisturíes, agujas y suturas: La evolución del material básico de la cirugía. *Cirujano General* Vol. 30 Núm. 4 – 2008.
2. Toledo-Pereyra LH. Cirujanos en su siglo. De Hipócrates y su Escuela. *Revista Médica del Hospital General de México*, 2014, vol 77, nº 1, pp 3-4.
3. Patiño JF. Legado quirúrgico de Hipócrates. *Revista Colombiana de Cirugía*, 2008, vol 23, pp 191-196.
4. Tullo E. Trepanation and Roman medicine: a comparison of osteoarchaeological remains, material culture and written texts. *J R Coll Physicians Edinb* 2010; 40:165–71. DOI: 10.4997/JRCPE.2010.21.
5. Buckminster MSA. *The Imperfect Warrior: Disability and Surgery on the Medieval English Battlefield*, Dialogues: Undergraduate Research in Philosophy, History, and Politics, 2019 Vol. 1, Article.
6. Average life expectancy from birth in the world and selected countries of regions in years between 1000 and 2020 [Internet]. OECD& UN DESA & World Bank, Abril 2022. [Consultado el 18 de mayo 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3Iook0K>.
7. Life Expectancy [Internet]. 2021, Ourworld in Data [Consultado el 18 de mayo 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/41PkXAK>.
8. ICT Development Index [Internet]. 2017, ITU Data, [Consultado el 18 de mayo 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3On0P5Q>,
9. Primary Energy Consumptio [Internet]. 2021, Ourworld in Data [Consultado el 18 de mayo 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3OI0two>.
10. Álvarez A, Quesada S, Borrás F, Materiales bidimensionales: Construyendo el futuro. *Revista BIT del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación*, nº 215, 2020, pp 62-63,
11. Diana M, Marescaux J. Robotic surgery. *Br J Surg*. 2015 Jan;102(2):e15-28. doi: 10.1002/bjs.9711. PMID: 25627128
12. Zemmar A, Lozano AM, Nelson BJ. The rise of robots in surgical environments during COVID-19. *Nat Mach Intell* 2, 566–572 (2020). <https://doi.org/10.1038/s42256-020-00238-2>
13. Morrell ALG, Morrell-Junior AC, Morrell AG, Mendes JMF, Tustumi F, DE-Oliveira-E-Silva LG, Morrell A. The history of robotic surgery and its evolution: when illusion becomes reality. *Rev Col Bras Cir*. 2021 Jan 13;48:e20202798. English, Portuguese. doi: 10.1590/0100-6991e-20202798. PMID: 33470371.
14. Le HM, Do TN, Phee SJ. A survey on actuators-driven surgical robots. *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 247, 2016, Pages 323-354,ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.06.010>.
15. Dyro J. *Clinical Engineering Handbook*. Academic Press Series in Biomedical Engineering, 2004, Elsevier
16. Observatorio Nacional de 5G. 5G: La transformación de sectores clave [Internet]. 2020. [Consultado el 18 de mayo 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3hRpSws>
17. 5G Public Private Partnership Project. 5G empowering vertical industries [Internet]. 2016, [Consultado el 18 de mayo 2023]. Disponible en: <https://bit.ly/3IoPGh8>.
18. Dananjayan S, Raj GM. 5G in healthcare: how fast will be the transformation?. *Ir J Med Sci* 190, 497–501 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11845-020-02329-w>
19. Soldani D, Fadini F, Rasanen H, Duran J, Niemela T, Chandramouli D, Høglund T, Doppler K, Himanen T, Laiho J, Nanavaty N. 2017. 5G Mobile Systems for Healthcare. 1-5. 10.1109/VTCSpring.2017.8108602.
20. Moglia A, Georgiou K, Marinov B, Georgiou E, Berchiolli RN, Satava RM, Cuschieri A. 5G in Healthcare: From COVID-19 to Future Challenges. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 26, no. 8, pp. 4187-4196, Aug. 2022, doi: 10.1109/JBHI.2022.3181205.
21. Chen J, Wang W, Zhou Y, Ahmed SH, Wei W, Exploiting 5G and Blockchain for Medical Applications of Drones. *IEEE Network*, vol. 35, no. 1, pp. 30-36, January/February 2021, doi: 10.1109/MNET.011.2000144.
22. Ishwarappa, Anuradha J. A Brief Introduction on Big Data 5Vs Characteristics and Hadoop Technology. *Procedia Computer Science*, Volume 48, 2015, Pages 319-324, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.188>.
23. Nagy Z. *Artificial Intelligence and Machine Learning Fundamentals*, Pack Publishing, 2018.
24. Spatharou A, Hieronimus S, Jenkins J. Transforming healthcare with AI: The impact on the workforce and organisations. EIT Health, MKinsey Report 2020.
25. Izquierdo JL, Almonacid C. Nuevas Tecnologías en Medicina. *Revista de Investigación y Educación en Ciencias de la Salud*, Vol 7, nº 1, Mayo 2022, <https://doi.org/10.37536/RIECS.2022.7.1.308>.
26. Zhou XY, Guo Y, Shen M, Yang GZ. Application of artificial intelligence in surgery. *Front. Med*. 14, 417–430 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11684-020-0770-0>.

27. Urbanos G, Martín A, Vázquez G, Villanueva M, Villa M, Jimenez-Roldan L, Chavarrias M, Lagares A, Juárez E, Sanz. Supervised Machine Learning Methods and Hyperspectral Imaging Techniques Jointly Applied for Brain Cancer Classification. *Sensors*, vol. 21, no. 11, p. 3827, May 2021, doi: 10.3390/s21113827.
28. Zhao L, Giannarou S, Lee SL, Yang GZ. Registration-free simultaneous catheter and environment modelling. In: *Proceedings of International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*. New York: Springer, 2016: 525–533.
29. Bernhardt S, Nicolau SA, Soler L, Doignon C. The status of augmented reality in laparoscopic surgery as of 2016. *Med Image Anal* 2017; 37: 66–90.
30. Padoy N, Hager GD. 3D thread tracking for robotic assistance in tele-surgery. In: *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. San Francisco: IEEE, 2011: 2102–2107
31. Fujii K, Gras G, Salerno A, Yang GZ. Gaze gesture based human robot interaction for laparoscopic surgery. *Med Image Anal* 2018, 44: 196-214.
32. Sánchez J, Fernández J. Modelos de negocio en el sector de la salud digital. *Revista BIT del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación*, nº 215, 2020, pp 62-63.
33. Fernandez-Munoz M, Sanchez-Montero R, Lopez-Espi PL, Martinez-Rojas JA, Diez-Jimenez E. Miniaturized High Gain Flexible Spiral Antenna Tested in Human-Like Tissues. *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol. 21, pp. 772-777, 2022, doi: 10.1109/TNANO.2022.3225912.



© 2023 por los autores; Esta obra está sujeta a la licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.