



XXIV CONGRESO NACIONAL DE DERECHO SANITARIO

MADRID, 19, 20 Y 21 OCTUBRE 2017

CONFERENCIA MAGISTRAL

**EL IMPACTO DE LA U-HEALTH, INTELIGENCIA ARTIFICIAL, ROBÓTICA Y
NANOTECNOLOGÍA EN LA MEDICINA Y EL DERECHO**

Dr. D. Javier Cabo Salvador

Doctor en Medicina y Cirugía Cardiorácica

Miembro de la Academia de Ciencias de New York

Director de la Cátedra de Telemedicina y del Departamento de Inteligencia Artificial, Robótica y Nanotecnología del CITEC. Universidad Internacional de Andalucía

Director de la Cátedra de Gestión Sanitaria y Ciencias de la Salud de la UDIMA

Patrocinado por la
**Asociación Española
de Derecho Sanitario**

CONGRESO NACIONAL DE DERECHO SANITARIO

Conferencia Inaugural:
EL IMPACTO DE LA U-HEALTH, INTELIGENCIA ARTIFICIAL, ROBÓTICA Y NANOTECNOLOGÍA EN LA MEDICINA Y EL DERECHO



Dr. Javier Cabo Salvador

Doctor en Medicina y Cirugía Cardiorácica

Miembro de la Academia de Ciencias de New York

CEO Medical Technology Consulting

CEO Health & Artificial Intelligence. T-Matrizz Investment Group.

Director de la Cátedra de Telemedicina de la Universidad Internacional de Andalucía

Director de la Cátedra de Gestión Sanitaria y Ciencias de la Salud de la UDIMA

Director de la Cátedra de Innovación Biomédica e Inteligencia Artificial de la Hispanic American College & University de New York. USA

Director de la Cátedra de Investigación Biomédica de la Universidad Católica Nordestana (UCNE). Rep. Dominicana

Director del Departamento de Inteligencia Artificial, Robótica y Nanotecnología del CITEC

Director del Departamento de Cirugía Cardiovascular Hospital Metropolitano de Santiago (HOMS). Rep. Dominicana

Director Asociado del Departamento de Cirugía Cardiovascular Hospital Vithas NISA Pardo de Aravaca

**La Inteligencia Artificial, Robótica,
Ingeniería Genómica y Nanotecnología
serán los motores de la sanidad del futuro inmediato,
encaminada a la medicina personalizada y a la
gestión integral mediante la uHealth
de la asistencia socio sanitaria y la
gestión de pacientes crónicos
Javier Cabo 2017**



Richard Feynman, premio Nobel de Física conocido por su trabajo en la formulación integral de la mecánica, electrodinámica y computación cuántica, y pionero de la nanotecnología, en su conferencia *"There is plenty of room at the bottom"*, (Hay mucho espacio al fondo), pronunciada en la reunión de la American Physical Society en el Instituto de Tecnología de California en Pasadena (Caltech) en diciembre de 1959 sentó los pilares de lo que más tarde se conocería como nanotecnología, pronunciando textualmente la frase: *"We might one day 'swallow the surgeon"*, y aquello que pareció en aquel momento sólo un sueño de un científico, ya es una realidad y ese día ya ha llegado.

El desarrollo y los avances de la medicina en las últimas décadas, han sido espectaculares, pasando desde una época centrada en la innovación y desarrollo de productos médicos y soluciones tecnológicas basados en modelos previamente testados con evidencia clínica, a la presente década, época del auge y desarrollo de los servicios con la creación de plataformas enfocadas a la gestión de la salud en tiempo real, y entrando y yendo en las próximas décadas hacia el desarrollo de soluciones que usando la inteligencia artificial, robótica, realidad aumentada, ingeniería genómica y nanotecnología, están enfocadas hacia el cuidado preventivo y la medicina personalizada.

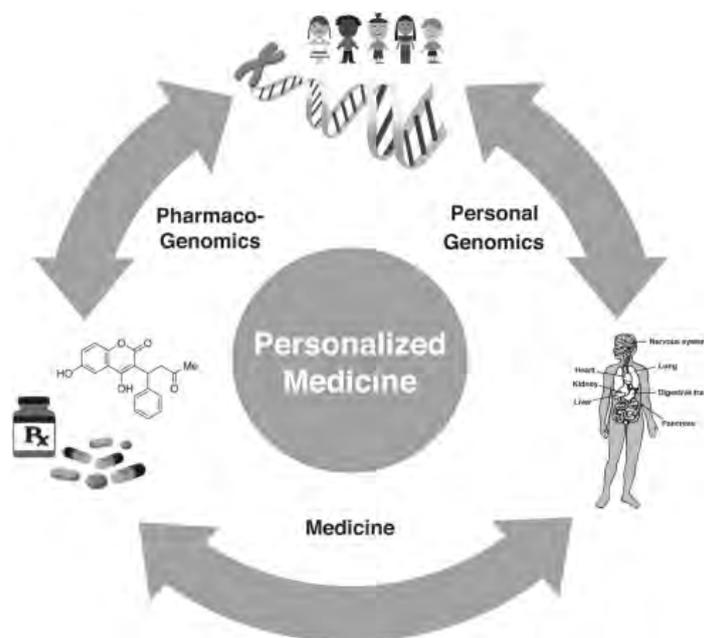


Fig. 1. Hacia la Genómica y la Medicina Personalizada, el futuro de la medicina

La confluencia de estos tres modelos de desarrollo, los productos con base tecnológica, las plataformas y aplicaciones, y las soluciones con sistemas inteligentes cognitivos, junto con una cultura más proactiva de la ciudadanía y con una gran accesibilidad y posibilidad de transmitir y gestionar la información con datos tanto estructurados como no estructurados, ya sea desde los grandes hospitales como desde las futuras residencias medicalizadas o desde los mismos hogares a nivel individual y familiar, ofrecen grandes posibilidades de mejora en los cuidados de la salud, de prevención de enfermedades y de mejora de la gestión socio sanitaria y la gestión de pacientes

crónicos, y se encaminan hacia una medicina de gran precisión previamente inigualable.

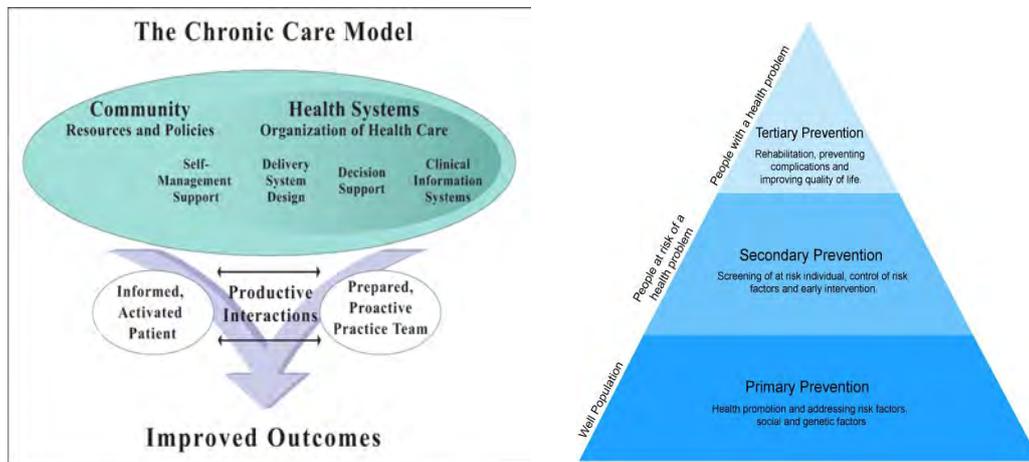


Fig.2. Modelo de Gestión de pacientes crónicos.
Integración de los Sistemas Sanitarios con la participación del individuo de manera proactiva

Estos avances tecnológicos, junto con la conectividad inalámbrica actualmente con Wi-Fi y en un futuro inmediato mediante Li-Fi, (conexión a Internet 100 veces más rápida que la actual, que usa una tecnología caracterizada por transmitir información a través de la luz led a 10 Gbps de velocidad), y todo ello integrado a través de dispositivos móviles, con sistemas operativos Androides o iOS, han creado una gran accesibilidad y democratización en el acceso a los cuidados de salud, de manera que los ciudadanos puede tener un cuidado proactivo de su salud y tener una información mejor y más real de su estado de salud, pudiendo tomar decisiones en base a una mayor información y en colaboración bien directa o vía "online" con los diferentes proveedores de salud, y todo ello encaminado hacia una medicina personalizada.

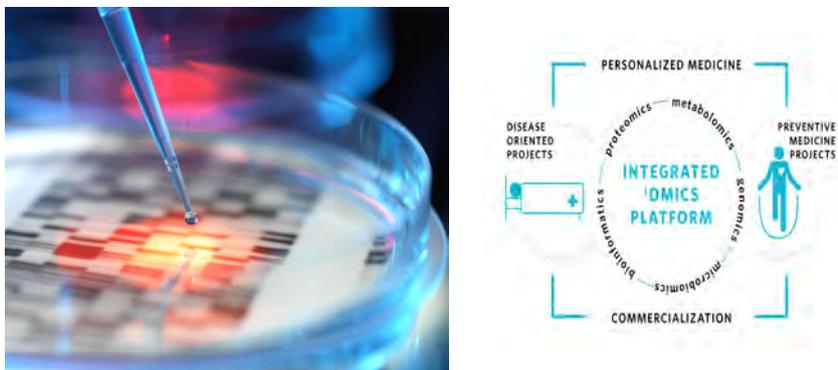


Fig. 3. Medicina Personalizada Integrada

La inteligencia Artificial (IA), vista durante mucho tiempo como algo prometedor en el sector de los cuidados de salud ya es una realidad hoy en día. La explosión del *Big Data* combinado con el incremento de demanda asistencial originado en parte por el incremento del número de personas de edad avanzada con patologías crónicas, el incremento de costes y la escasez de oferta de profesionales disponibles para atender dicha demanda, escasez en número y en disponibilidad geográfica de acceso para poder llegar a toda la población necesitada, ha creado una “demanda de servicios no cubierta por la oferta existente”, que solo puede solucionar esta nueva tecnología, motivo por el que en los últimos años estamos viviendo un gran progreso de la IA que ya está empezando a cubrir de manera incipiente esta demanda real existente.

Con el desarrollo de la IA y el *Big Data* podemos hoy en día realizar diagnósticos médicos, mejores y de manera más rápida y precisa, y tratamientos más efectivos, mejorando la calidad y eficiencia de la atención sanitaria de una manera más integral, proporcionando accesos al sistema sanitario de calidad, y cuidados de salud posibles y asequibles y con buenos resultados a gran parte de la población necesitada.

La IA y el *Big Data* son una realidad en nuestro entorno sanitario siendo una excelente herramienta de diagnóstico, estando cambiando el paradigma del futuro de los cuidados de salud de lo que queda del siglo XXI y venideros. Las ventajas económicas y sociales que se pueden alcanzar integrando la IA en el sector salud son indiscutibles e imparables, estando emergiendo nuevos modelos de cuidados de salud más proactivos basados en estas tecnologías.

Aunque los cuidados en salud siguen siendo personales y no queremos perder nunca el contacto humano, habrá que redefinir el rol de los diferentes profesionales en los diferentes procesos asistenciales y asegurarnos de que estas nuevas habilidades y enseñanzas se incorporen en las escuelas de medicina, porque ya son una realidad y están formando parte de la asistencia médica cotidiana.

Los avances de la IA, en sus dos vertientes débil y fuerte, tienen hoy en día una gran relevancia e impacto en la medicina ya que resulta muy difícil sin ella optimizar la enorme cantidad de información disponible en constante crecimiento con las fuentes utilizadas tradicionalmente en la investigación y en la práctica médica, pudiendo la IA ayudar a diagnosticar y detectar prematuramente enfermedades, mejorar la calidad de vida y reducir el gasto en salud de manera muy significativa.

En el campo de la IA, tanto con la llamada inteligencia computacional como con la inteligencia ambiental o computación ubicua (AmbI), estamos viviendo un avance espectacular siendo la comunidad médica pionera en la adopción ya de una manera precoz de la tecnología de computación cognitiva como el sistema Watson, gracias a su gran capacidad de análisis, interpretación, evaluación de datos y lo que es más importante de la posibilidad de sacar conclusiones, y autoaprendizaje.

Este sistema cognitivo ya está siendo incorporado en la parte asistencial de diagnóstico y tratamiento, colaborando de manera activa y directa con prestigiosos hospitales e instituciones de investigación a nivel mundial como el Memorial Sloan Kettering Cancer Center, el MD Anderson Cancer Center, y el New York Genomic Center, entre otros, tanto en el diagnóstico como en el tratamiento del cáncer, ayudando en la transformación de la medicina en cuanto a prácticas en investigación y enseñanza, y desarrollando herramientas de ayuda a los oncólogos para crear tratamientos más personalizados, siendo estas herramientas clave en la medicina preventiva y la medicina personalizada del futuro inmediato.

Estamos de lleno inmersos en la **Tercera Gran Revolución de la Humanidad**. La primera revolución sucedió con la transformación radical de la forma de vida de los hombres primitivos, que pasaron de ser nómadas y dedicarse a la caza y pesca, a ser sedentarios con una actividad productora dedicada a la agricultura y la ganadería, lo que originó el paso gradual de una situación en la que el hombre vivía en pequeños grupos nómadas de recolectores y cazadores, condicionada su supervivencia por la capacidad de obtener alimentos gracias a la caza, a una situación de producción, lo que dio comienzo a las primeras formas de agricultura y más tarde a la sedentarización.

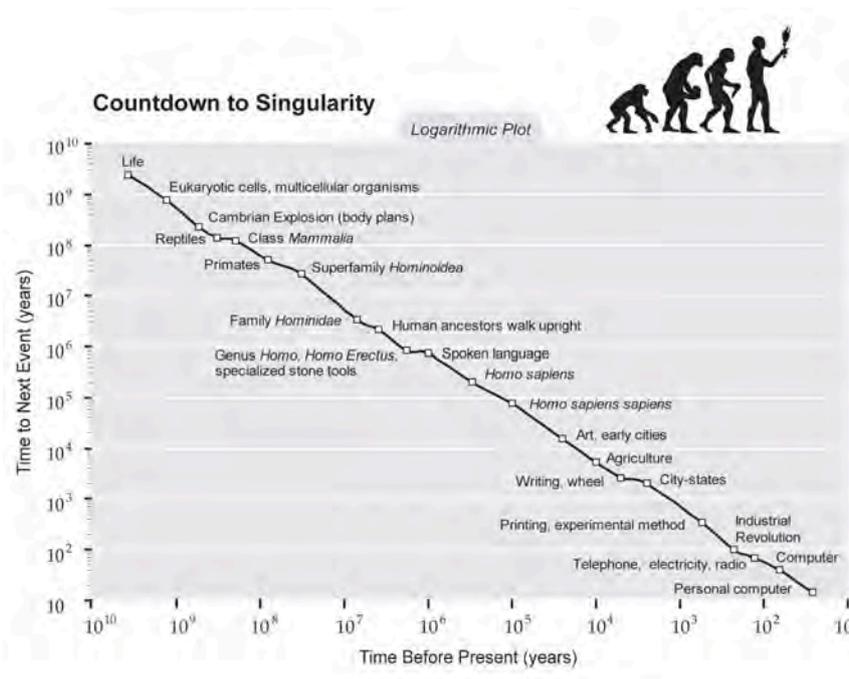


Fig.4. Evolución de la Humanidad a la Singularidad.

Fuente: <http://www.singularity.com/images/charts/CountdowntoSingularityLin.jpg>

Esta primera revolución de la humanidad, es la denominada **Revolución Agrícola**, proceso que tuvo lugar hace más de 10.000 años como respuesta al cambio climático producido en el comienzo del periodo conocido como Holoceno, la última y actual época del período Cuaternario, en el que nos encontramos tras la última glaciación, y que corresponde al paso del período Paleolítico

(piedra tallada) al período Neolítico (piedra nueva). En esta primera revolución la materia prima era materia prima cruda, producto de la extracción de productos de origen vegetal y animal.

Las variaciones ligadas a esta Revolución Neolítica significaron un enorme salto en el desarrollo de la humanidad, la cual comenzó a crecer con mayor rapidez al comenzar a cosechar alimentos que podían conservarse durante bastante tiempo, no dependiendo ya la supervivencia de la raza humana de la existencia o no existencia de posibilidades de caza.

Además, la necesidad de cultivar las plantas revolucionó su comportamiento empezando a desarrollarse técnicas agrícolas con la adopción de métodos y herramientas más eficaces para la preparación del suelo, el transporte y el almacenamiento de las cosechas y posteriormente para la conservación de los alimentos lo que generó el desarrollo de nuevas técnicas y artesanías como la cerámica y la alfarería, y gracias a los excedentes agrícolas pronto se dio paso al desarrollo del comercio, apareciendo las primeras diferencias de clases sociales y en definitiva comenzó el origen de la historia de la humanidad ya que el otro gran efecto de esta nueva capacidad productiva fue el crecimiento demográfico desarrollado en torno a la agricultura y el sedentarismo con el nacimiento de las ciudades, y el paso sucesivo evolutivo desde las primitivas comunidades agrícolas que hacían un uso colectivo de la tierra a la aparición paulatina de sociedades de clase asentadas con el desarrollo de la propiedad privada de las tierras cultivadas.

La segunda gran revolución de la humanidad fue la **Revolución Industrial**, proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XVIII a causa de diversos factores, tanto técnicos (cambio de la materia prima energética de la madera al carbón), como ideológicos, políticos y sociales (establecimiento del liberalismo y de una monarquía parlamentaria que proporcionaba seguridad jurídica y garantías para el desarrollo empresarial privado).

Inglaterra era en aquella época uno de los países con mayor disponibilidad de las denominadas materias primas esenciales, materias extraídas de la naturaleza, sobre todo el carbón, que con su transformación elaboran materiales que más tarde se convertirán en bienes de consumo.

En esta segunda revolución la materia prima más importante fue el carbón, combustible fósil, no renovable, considerado en aquella época el mineral indispensable para alimentar tanto a la máquina de vapor, motor de la Revolución Industrial, como a los altos hornos siderúrgicos, sector fundamental de desarrollo de la humanidad desde mediados del siglo XIX.

Esta segunda gran revolución de la humanidad, la revolución industrial, originó un incremento espectacular de la población, debido fundamentalmente a la caída de la tasa de mortalidad provocada por la mejora de las condiciones higiénicas, sanitarias y alimenticias, con una alimentación más abundante y regular, no sometida a las fluctuaciones de las cosechas, y llevó al surgimiento en el siglo XIX de grandes ciudades industriales como Manchester y New York.

Ahora estamos de lleno en la tercera gran revolución, La **Revolución Tecnológica**, iniciada con el cambio de la tecnología analógica, mecánica y electrónica, a la tecnología digital encaminada hacia la singularidad, con cambios radicales provocados por la computación y las Tecnologías de la Comunicación y Comunicación (TIC) a lo largo de la segunda mitad del siglo XX y el siglo XXI.

Así como en la Revolución Agrícola la materia prima eran los productos derivados de la extracción de productos de origen vegetal y animal, y en la Revolución Industrial la materia prima eran los productos derivados de la tierra como el carbón, en esta tercera Revolución Tecnológica la materia prima es la información transformada en datos, bien sean estos estructurados como no estructurados.

En el centro de esta revolución está la producción en masa y el uso generalizado a día de hoy, de tecnologías derivadas del desarrollo de circuitos lógicos digitales, en estos momentos utilizando códigos binarios (*bits*) como los computadores digitales, *smartphones*, y *tablets*; y el universal uso también generalizado de los grandes desarrollos de los productos originarios de la agencia del Departamento de Defensa de EEUU, "Defense Advanced Research Projects Agency" (DARPA), responsable del desarrollo de las nuevas tecnologías por todos hoy en día conocidas y utilizadas, como el email, que usando un protocolo SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) permite el intercambio de mensajes de correo electrónico entre computadoras u otros dispositivos, la World Wide Web (*internet*), para la transmisión de archivos mediante los protocolos de transferencia de archivos FTP (*File Transfer Protocol*), y el TCP (*Transmission Control Protocol*), protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red; la televisión interactiva IPTV usando conexiones de banda ancha sobre un protocolo IP (*Internet Protocol Television*) y los *chatbots*, que son robots conversacionales que simulan mantener una conversación con una persona mediante algún protocolo de comunicación como el IRC (*Internet Relay Chat*) protocolo de comunicación en tiempo real basado en texto, o mediante la conversión de textos en voz sintética, protocolos CTV o TTS (*Text To Speech*).

HACIA LA SINGULARIDAD TECNOLÓGICA EN MEDICINA

Todos estos desarrollos tecnológicos nos están acercando cada vez más hacia la Singularidad Tecnológica, término descrito en el año 1958 por el matemático y físico John von Neumann que realizó contribuciones fundamentales en el campo de la física cuántica y en las ciencias de la computación y posteriormente popularizado por otro matemático e informático Vernor Vinge, quien afirmaba que la inteligencia artificial (IA), también llamada inteligencia computacional, inteligencia desarrollada por las máquinas junto con las mejoras de la biología humana mediante tecnologías genéticas, como la ingeniería genética, tecnología para el control de la transferencia del ADN de un organismo a otro, y las técnicas como el CRISPR, y la farmacogenómica; las neurotecnologías, que incluyen simulaciones de modelos neurales, computadores biológicos, y aparatos para interconectar el cerebro con sistemas electrónicos, y el gran desarrollo de la nanotecnología, sobre todo la nanorrobótica con la creación de nanobots, y la futura aplicación de la nanotecnología molecular, tecnología basada en la capacidad de construir estructuras complejas, con especificaciones atómicas mediante la mecano-síntesis, nos llevarían según Vinge a la creación de inteligencias artificiales de capacidades mayores a la humana, que a su vez producirían

inteligencias aún mayores y así sucesivamente, conduciendo a una "singularidad" en el desarrollo, y a un punto de inflexión de crecimiento tecnológico exponencial, con consecuencias inimaginables en la raza humana pudiendo llegar al transhumanismo.

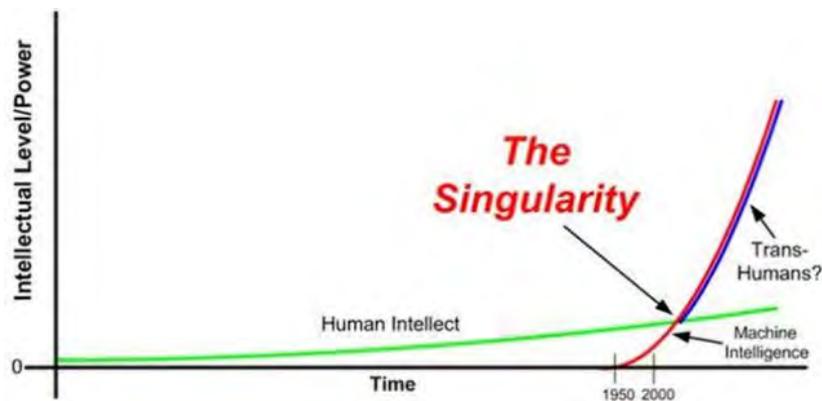


Fig.5 Hacia la Singularidad Tecnológica y el Transhumanismo

En pleno siglo XXI en el que nos encontramos y con un mundo dominado por la tecnología, la física y dentro de ella la nanotecnología y la computación cuántica, donde la unidad mínima de información ya no es el "bit" sino el "qubit", nos ofrece la posibilidad de construir máquinas capaces de procesar la información en base a algoritmos cuánticos, lo que en un futuro cercano va a suponer una nueva revolución y un cambio de paradigma tanto en la gestión de la información como en la posibilidad de realizar simulaciones de entornos y escenarios de sistemas complejos, imposibles de realizar actualmente con las leyes de la física newtoniana.

La nanotecnología y la computación cuántica van a ser capaces de multiplicar la capacidad de proceso de datos y de resolución de problemas en todas las áreas de la ciencia y de la medicina, permitiendo el desarrollo de la inteligencia artificial denominada fuerte en todos sus aspectos, y el gran desarrollo de la biología sintética con la creación de impresiones tisulares y biocompatibles en 4D, con capacidad de transformarse y adaptarse en el tiempo para convertirse en otros objetos totalmente diferentes que se pueden ensamblar y transformar de forma autónoma.

El desarrollo de la nanotecnología con la creación de materiales inteligentes y nanorrobots impulsarán el mundo de la medicina, y será precisamente gracias a la nanotecnología y a la computación cuántica que se pueda alcanzar de una manera efectiva y real la singularidad tecnológica de otra manera totalmente estancada en la actualidad.

Esto supondría un gran avance en el campo de la medicina, potenciando el desarrollo de la nanotecnología dentro del campo de la farmacología y el empleo de la simulación cuántica en la robótica con el desarrollo de nanorrobots capaces de dirigirse y liberar medicamentos y elementos farmacológicos en puntos estratégicos señalados de nuestro cuerpo para eliminar sustancias de depósito nocivas e incluso células tumorales.

Todo esto posibilitaría el desarrollo de nuevos métodos diagnósticos que gracias a los sistemas cognitivos tipo Watson, y el potencial de desarrollo de redes neuronales mejoradas capaces de minitizar los sistemas inteligentes, acercándonos de esta manera, con una aceleración exponencial, mediante la computación cuántica, cada vez más en un futuro lejano, cercano al 2080, a la singularidad tecnológica, momento hipotético en el que la inteligencia artificial no solamente alcance la supremacía cuántica, sino que incluso pueda superar a la inteligencia humana.

En medicina estamos yendo también hacia la singularidad, no a la singularidad espaciotemporal o singularidad gravitacional, definida desde el punto de vista físico, como una zona del espacio-tiempo, donde no se puede definir alguna magnitud física relacionada con los campos gravitatorios, como puede ser la curvatura, singularidad descrita por Roger Penrose en 1965 y de la que todos hemos oído hablar a través de los trabajos de Einstein y de Stephen Hawking al hablar de la relatividad y de los agujeros negros, sino a la Singularidad Tecnológica que está sucediendo con el gran crecimiento exponencial de la inteligencia artificial en los últimos años.

En mi opinión el futuro de la medicina radica en la integración multidisciplinar de la medicina con la genética y la biología molecular, la ingeniería biomédica (biotecnología), la inteligencia artificial, la robótica, y la nanotecnología.

Antes de entrar en el futuro voy a hacer un rápido repaso para ver cómo ha ido evolucionando la medicina en una de sus ramas más jóvenes y avanzada como la cirugía cardiovascular desde sus inicios en los años 50 hasta la actualidad, y como se han ido manifestando los cambios tecnológicos en este campo a lo largo de los años.

La cirugía cardíaca como tal comenzó en el año 1952 cuando Walton Lillehei realizó las primeras operaciones a corazón abierto en niños con cardiopatías congénitas utilizando el corazón y los pulmones de los padres como máquina de circulación extracorpórea y oxigenador respectivamente. Mediante este sistema ingenioso, que él denominó "circulación cruzada", podía conectar la circulación del niño con la del padre o la madre, lo que le permitía poder parar el corazón del niño, abrirlo y repararlo. Afortunadamente pocos años más tarde John Gibbon, desarrolló la máquina de circulación extracorpórea lo que posibilitó la realización de la cirugía cardíaca, con menos riesgos y de una manera más fácil para todos.

A nivel tecnológico, gracias a la aparición de nuevos materiales, también se han visto cambios espectaculares en las prótesis empleadas para corregir los defectos cardiovasculares. Así del primer marcapasos de la historia que era un verdadero armario al que el paciente tenía que estar conectado mediante cables externos y mediante el cual por cierto podía incluso morir electrocutado, pasamos en pocos años a los marcapasos actuales, pequeños y totalmente implantables.

También a nivel tecnológico podemos ver la evolución rápida y espectacular en el desarrollo de las válvulas cardíacas mecánicas y biológicas como sustitutos valvulares. En un primer momento muy aparatosas y de cristal, acero y silicona para posteriormente gracias a los avances

tecnológicos derivados de la carrera espacial pasar al titanio y al carbón pirolítico y a las válvulas biológicas de cerdo o de pericardio de ternera, todas ellas prótesis que requieren de anticoagulación, motivo por el que se desarrollaron los procedimientos de criopreservación de homoinjertos valvulados en nitrógeno líquido a $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su almacenaje y poder ser utilizados posteriormente como sustitutivos valvulares, con la ventaja de no requerir de medicación anticoagulante.

Posteriormente en los años 80 ya se desarrollaron corazones artificiales implantables, que se pueden utilizar como alternativa a los trasplantes, para sustituir solamente la parte izquierda del corazón o sustituir el corazón total con la prótesis cardíaca total biológica o totalmente mecánica e incluso utilizar los corazones artificiales como corazón sustitutivo parcial o total temporal externo y que se puede utilizar como corazón artificial externo como puente y en espera a la aparición de un corazón donante para poder realizar posteriormente un trasplante.

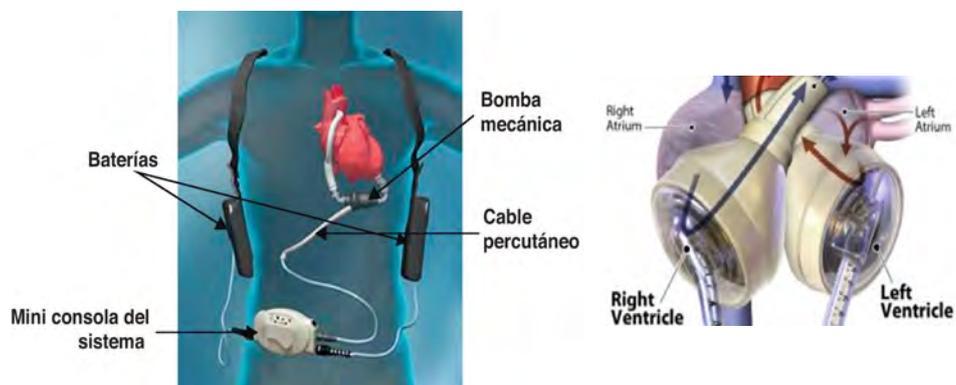


Fig.6. Corazones Artificiales Implantables

Otro gran avance tecnológico espectacular que estamos viviendo es la cirugía robótica que posibilita la realización de cirugías complejas con una gran precisión, a distancia y de una manera mucho menos invasiva que la cirugía convencional facilitando el postoperatorio de los pacientes y disminuyendo la morbimortalidad.

¿Cuál es el futuro? ¿Hacia dónde vamos?

Como he dicho anteriormente en medicina caminamos hacia la singularidad tecnológica y hacia una integración total de la robótica, la biología molecular, la ingeniería tisular, la nanotecnología y la inteligencia artificial. En el campo de los biosensores y de la computación ubicua con integración de la informática en el entorno de las personas (inteligencia ambiental) podemos transferir datos biológicos (ECG, Sat O₂, Presión Arterial, Frecuencia Cardíaca, Temperatura...) a distancia mediante la uHealth, para poder realizar diagnósticos a distancia.



Fig.7. Inteligencia Artificial e Inteligencia Ambiental. Computación Ubicua

¿CUÁL ES EL IMPACTO DE LA U-HEALTH EN LA MEDICINA? ¿CUÁLES SON LOS GRANDES RETOS DE LA U-HEALTH?

La u-Health (telemedicina ubicua) y las Tecnologías de Información y Comunicación en sanidad (TIC), en sus diferentes modalidades de teleconsulta, telediagnóstico, telemonitorización, teleasistencia, telecirugía, teleformación y telerehabilitación, se definen como “el uso de la información electrónica y las TIC en apoyo de la asistencia clínica, la educación sanitaria y la salud pública a distancia”, siendo la u-Health una variante de telemedicina realizada con el apoyo de los dispositivos móviles y sensores ambientales (inteligencia ambiental).



Fig.8. uHealth. Hospital Sin Barreras. Medicina Personalizada

El impacto de las TIC es decisivo en el desarrollo de la medicina y clave en la gestión de pacientes crónicos, mejorando la calidad asistencial y la seguridad y cambiando el concepto de equidad y accesibilidad, al salvar las barreras tanto geográficas como políticas, económicas y administrativas, ayudando a mejorar la continuidad del proceso asistencial en base a la eficiencia, eficacia y efectividad, reduciendo costes, evitando duplicidad de pruebas, agilizando procesos, evitando el desarrollo de morbilidades y posibilitando el desarrollo de la medicina personalizada.

La adopción de tecnologías de computación en la nube ofreciendo servicios de computación a través de una red, generalmente internet "cloud computing" ha dinamizado aún más la implantación de la telemedicina y de los Historiales Médicos Electrónicos (HME) en nuestro entorno asistencial.

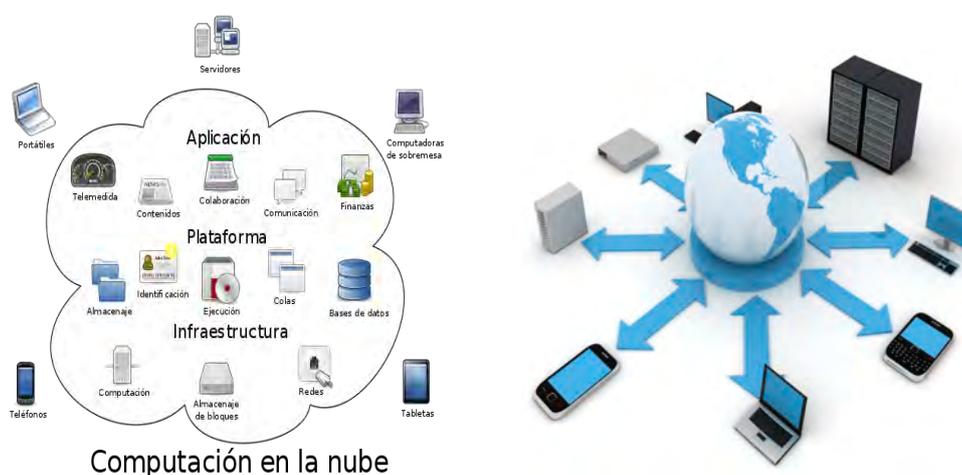


Fig. 9. Inteligencia Artificial. Inteligencia Ambiental. Computación Ubicua. uHealth

El incremento de la longevidad y el aumento de patologías crónicas implica un incremento en la demanda de servicios asistenciales (ya de por sí hoy saturados), lo que implica un incremento en la necesidad de recursos tanto estructurales y materiales como humanos, y una oportunidad para la telemedicina y la teleasistencia, tanto para los diagnósticos a distancia (telehealth: telecardiología, teleoftalmología, teledermatología) como para la monitorización remota de pacientes asistidos ya no solo en las unidades de UVI, UCI, REA y boxes de Urgencia de los Hospitales, sino también en Centros Ambulatorios Sanitarios y parasanitarios como las farmacias o centros locales de apoyo rurales; y en las Residencias Medicalizadas y los domicilios particulares (asistencia sanitaria domiciliaria), mediante el desarrollo y aplicación de sistemas de detección de signos vitales, el uso de la nanotecnología y la Inteligencia Ambiental (AmbI) y su transmisión a través de pantallas interactivas, smartphones y tablets (iPad), con el desarrollo de las EMRs para los test de diagnóstico preventivo.

Gracias a las TIC existe un auge de la cirugía mínimamente invasiva (CMI) laparoscópica, y de la Cirugía Robótica, con cirugías menos agresivas y de mayor precisión con posibilidad de realización de las mismas a distancia. Asimismo, las TIC potencian el desarrollo de la biotecnología, nuevas drogas, y la terapia génica.

En definitiva, las TIC, además de mejorar la calidad asistencial juegan un papel muy importante en la seguridad del paciente y van a suponer un ahorro en el consumo de recursos sanitarios (evitando duplicidades de pruebas diagnósticas) con reducción de los errores médicos, evitando morbilidades asociadas a tratamientos no adecuados, y mejorando la asistencia mediante una medicina basada en la evidencia (MBE).

Las TIC juegan y jugarán un papel muy importante en las Organizaciones Sanitarias, mejorando la calidad, eficacia y eficiencia de los servicios sanitarios, siendo herramientas de gestión estratégica claves para incrementar la accesibilidad y equidad, optimizar los procesos administrativos, mejorando la continuidad asistencial, potenciando la interoperabilidad entre los diferentes Centros y CCAA, dando soporte en la asistencia domiciliaria y a la gestión de pacientes crónicos, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad de los Sistemas Sanitarios e incrementando la calidad asistencial y la seguridad de la asistencia ayudando a la toma de decisiones clínicas y de gestión.

El gran desarrollo y potenciación del campo de actuación de las TIC vendrá de la mano de diferentes estrategias posibles de programación como la *"Responsive Design"* basada en el desarrollo de páginas web con tecnología HTML5, permitiendo que el mismo código pueda ser visualizado en modo multidispositivo, bien en una pantalla interactiva, ordenador portátil, *smartphone* o *tablet* e independizando las aplicaciones de los dispositivos.

Las TIC son el motor del cambio en los procesos de gestión de pacientes crónicos generalmente pluripatológicos y de la potenciación del "interface" de asistencia socio sanitaria, en un entorno como el actual en el que hay un modelo sanitario enfocado al cuidado y tratamiento de enfermos agudos.

Actualmente estamos en un cambio de paradigma de modelo sanitario, cambio de modelo asistencial absolutamente necesario y que se encamina hacia una reestructuración de los servicios asistenciales hacia una gestión por procesos matricial y hacia una gestión de la enfermedad *Disease Management*, lo que implica un cambio organizativo en el que la coordinación es esencial en los dos niveles, a nivel social y a nivel sanitario (entendiendo este como un modelo integrado con interoperabilidad real entre asistencia primaria y especializada), modelo centrado en el paciente y que potencia y fomenta su autocuidado y corresponsabilidad a la hora de gestionar su situación de cronicidad.

El potencial de la uHealth radica en la posibilidad de poder interactuar directamente y de manera muchas veces *online* con los profesionales del sector sanitario, lo que nos permite gestionar nuestra propia salud a través de Internet, todo ello soportado por las tecnologías de la información y comunicación (TIC), convergiendo con las tendencias tecnológicas actuales como la *iCloud*, un

sistema de almacenamiento tipo nube o *Cloud Computing*.



Fig.10. Cloud Computing y Big Data

Asimismo, la U-health, la nanotecnología y la Inteligencia Ambiental (AmbI), nos permite conocer el estado biomédico del paciente en su entorno habitual de la vida diaria y ofrecer tanto al médico de Atención Primaria como al Especialista toda la información diagnóstica de interés, permitiendo dibujar un escenario de "Hospital sin barreras" y virtualmente situado en el entorno del paciente.

En estos escenarios, el paciente puede estar rodeado de múltiples sensores autónomos que formando redes ad hoc, ya sean BAN (Body Area Network), PAN (Personal Area Network) y/o HAN (Home Area Network), adquieren la información de interés.

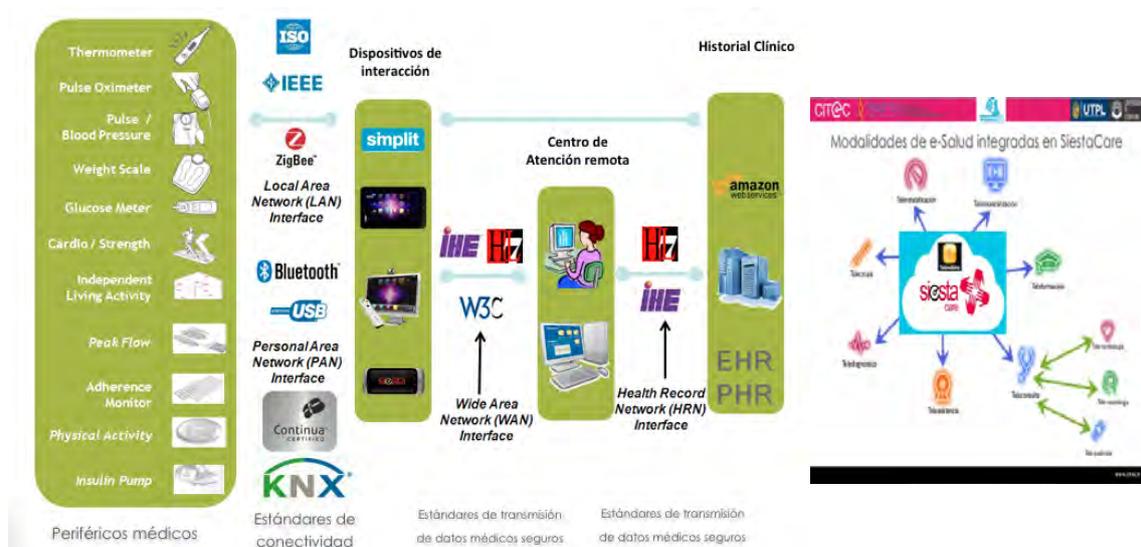


Fig. 11. Plataforma SiestaCare para la integración de la asistencia socio sanitaria y la gestión de pacientes crónicos mediante la uHealth

Este concepto emergente de inteligencia ambiental (*Ambient Intelligence, AmbI*), ofrece la posibilidad de que en todo entorno cotidiano (hogar, residencia tercera edad, en movimiento por la calle, en los transportes, en los lugares públicos, en los hospitales) se pueda tener inteligencia integrada que facilite la gestión por procesos y la gestión matricial.

El concepto "inteligencia ambiental" es un terreno fronterizo entre los últimos avances en computación ubicua y los nuevos conceptos de interacción inteligente entre usuario y máquina. En el terreno práctico, la inteligencia ambiental consiste en la interacción de una serie de objetos de uso cotidiano con cualidades interactivas "suaves" y no intrusivas.

Estos sistemas basados en inteligencia ambiental producen "interfaces intuitivas", inteligentes que son incluidas en objetos y entornos cotidianos, (muebles, ropa, vehículos, carreteras e incluso en partículas de pintura o tejidos), capaces de detectar la presencia humana.

En los entornos de Inteligencia Ambiental, los dispositivos basados en TIC y los ordenadores se "difuminan" en el fondo de dicho entorno, mientras que los individuos se encuentran rodeados de "interfaces" inteligentes e intuitivas integradas en todo tipo de objetos. El entorno reconoce a los individuos y algunos de sus deseos y necesidades, así como el cambio del propio entorno.

Entre los beneficios específicos que aporta la uHealth, y la Inteligencia ambiental-AmbI en los procesos asistenciales podemos diferenciarlos en tres escenarios: Sobre los ciudadanos, con una mejor calidad asistencial, bien por tener acceso de forma sencilla y rápida a especialistas o bien por la posibilidad de que los facultativos dispongan de mayor cantidad de información acerca del paciente. Además, los pacientes evitarán gastos, pérdida de tiempo y la inconveniencia de viajar en ocasiones largas distancias para realizar consultas adicionales cuando se requiere contar con la opinión de un especialista.

Sobre los profesionales socio-sanitarios, ofreciendo la posibilidad de recabar, independientemente de la ubicación geográfica, una segunda opinión para la realización de diagnósticos, una mejora de la coordinación clínica y terapéutica, y la posibilidad de apoyo a los médicos que ejercen su labor en zonas aisladas. Sobre la organización, favoreciendo la equidad y universalidad del servicio sanitario, mejorando la continuidad asistencial, permitiendo el suministro de asistencia sanitaria de calidad en las zonas remotas del país, facilitando una menor duración de la estancia en el hospital, lo que se traduce en una mejor utilización de los recursos y una mayor rapidez en la incorporación del paciente a su medio habitual, y reduciendo las necesidades de desplazamientos y transporte que deben ser asumidos por el sistema sanitario.

Mediante la utilización de la uHealth se puede conseguir que cada entorno asistencial (Atención Primaria y Atención Especializada) disponga de la información suficiente y tenga capacidad para intercambiar la información de una manera segura, rápida, eficiencia y de calidad.

¿QUÉ IMPACTO ESTÁ TENIENDO LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MEDICINA?

La inteligencia Artificial (IA), vista durante mucho tiempo como prometedora en el sector de los cuidados de salud, hoy en día ya es una realidad. La explosión del *Big Data* combinado con el incremento de demanda asistencial originado en parte por el incremento del número de personas de edad avanzada con patologías crónicas, el incremento de costes y la escasez de oferta de profesionales disponibles para atender dicha demanda, escasez en número y en disponibilidad geográfica de acceso para poder llegar a toda la población necesitada, ha creado una “demanda de servicios no cubierta por la oferta existente”, que solo puede solucionar esta tecnología, motivo por el que en los últimos años estamos viviendo un gran progreso de la IA que está empezando a cubrir ya de manera incipiente esta demanda real existente. El mercado de la IA en el campo de la salud está en pleno auge, con gran desarrollo e inversiones a través de las tecnológicas del sector de las TIC del Silicon Valley, pudiendo según la consultora Frost & Sullivan llegar a alcanzar este sector en el 2021 los 6600 millones de dólares frente a los 634 millones obtenidos en 2014.

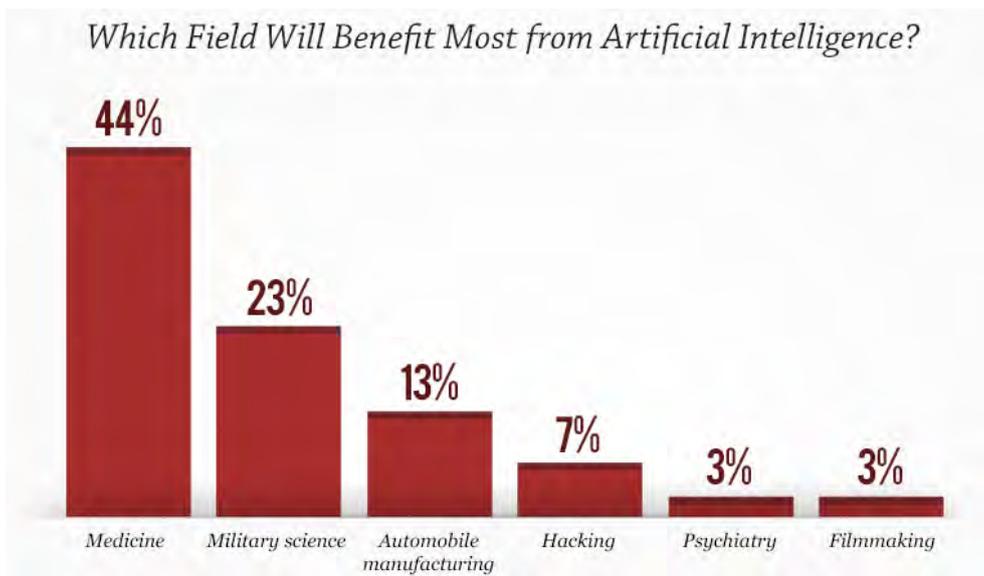


Fig.12. Mercado emergente de la Inteligencia Artificial en la Medicina

Con el desarrollo de la IA y el *Big Data* podemos hoy en día realizar diagnósticos médicos, mejores y de manera más rápida y precisa, tratamientos más efectivos, mejorando la calidad y eficiencia de la atención sanitaria de una manera más integral, proporcionando accesos al sistema sanitario de calidad, y cuidados de salud posibles y asequibles y con buenos resultados a gran parte de la población necesitada. La IA y el *Big Data* son una realidad en nuestro entorno sanitario siendo una excelente herramienta de diagnóstico, estando cambiando el paradigma del futuro de los cuidados de salud de lo que queda del siglo XXI y venideros.

Las ventajas económicas y sociales que se pueden alcanzar integrando la IA en el sector salud son indiscutibles e imparables, estando emergiendo nuevos modelos de cuidados de salud más

proactivos basados en estas tecnologías. Aunque los cuidados en salud siguen siendo personales y no queramos perder nunca el contacto humano habrá que redefinir el rol de los diferentes profesionales en los diferentes procesos asistenciales y asegurarnos de que estas nuevas habilidades y enseñanzas se incorporen en las escuelas de medicina.

Los avances de la IA tienen hoy en día un gran impacto en la medicina ya que resulta difícil optimizar y gestionar la enorme cantidad de información disponible, en constante crecimiento, con las fuentes utilizadas tradicionalmente en la investigación y en la práctica médica, pudiendo la IA ayudar a diagnosticar y detectar prematuramente enfermedades, mejorar la calidad de vida y reducir el gasto en salud. En el campo de la IA, estamos viviendo un avance espectacular y la comunidad médica ha sido pionera en la adopción de la tecnología de computación cognitiva como el sistema Watson, gracias a su gran capacidad de análisis, interpretación, evaluación de datos y lo que es más importante de sacar conclusiones

Watson Health, aunque no es propiamente un sistema de IA, ya que su finalidad no es la de reproducir el cerebro reemplazando el pensamiento humano por el pensamiento de la máquina, es un sistema de computación cognitiva, capaz de ayudar al médico y resto de profesionales sanitarios en la toma de decisiones sobre procesos o situaciones donde haya múltiples opciones y posibilidades.

Para ello Watson tiene dos características fundamentales muy importantes para su aplicación en el campo de la medicina: por un lado es capaz de procesar grandes volúmenes de datos (puede analizar 70.000 artículos en un día, una tarea que a un profesional humano le llevaría más de 38 años) analizando grandes cantidades de información, con datos estructurados y no estructurados, como vídeos, audios o imágenes, (datos hasta ahora prácticamente invisibles y no utilizables a la hora de toma de decisiones) y tomar mejores decisiones apoyadas en esa información, en base a algoritmos probabilísticos y no por determinaciones, siendo además capaz de reconocer el lenguaje natural utilizado por los humanos, y ante un interrogante, formular hipótesis y escoger la respuesta en la que tiene mayor nivel de confianza, presentando su razonamiento, pudiendo responder a preguntas complejas planteadas en lenguaje natural, dando respuestas también en lenguaje natural, lo que implica que aprende y habla de forma que un humano lo puede entender.

Watson, además de aprender continuamente, ganando en valor y conocimiento con el tiempo, de interacciones anteriores, dispone de capacidad de aprendizaje, no pretendiendo ser una tecnología sustitutiva de las personas, sino ser un complemento para la adopción de decisiones, no sustituyendo así al médico, si no ayudándole en el diagnóstico diferencial y en la adopción de las medidas terapéuticas, siendo capaz de recopilar millones de datos en tiempo real para la toma de decisiones más personalizadas y en principio más acertadas, sugeridas en base a la evidencia científica.

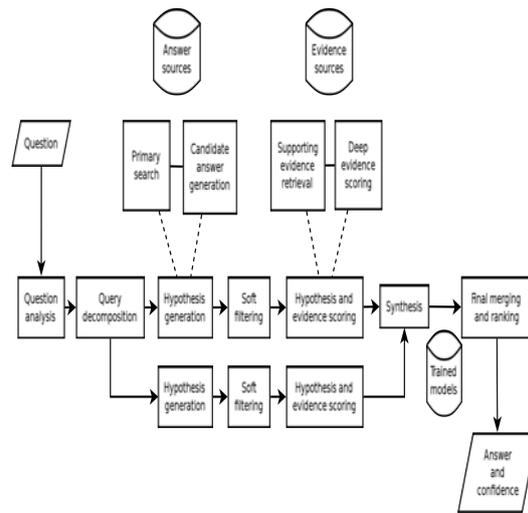
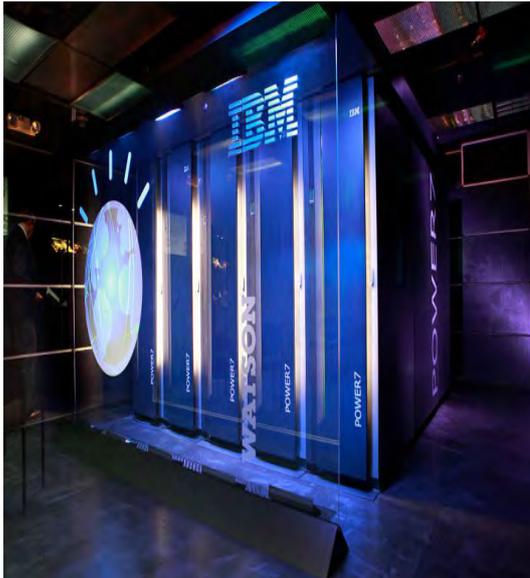


Fig.13. Sistema Cognitivo Watson

Watson Health ya está establecido actualmente en prestigiosos hospitales e instituciones de investigación punteros a nivel mundial como el Memorial Sloan Kettering Cancer Center de New York, el MD Anderson Cancer Center de la Universidad de Texas, la Cleveland Clinic, la Clínica Mayo o el Centro del Genoma de Nueva York y está colaborando con empresas tecnológicas como Apple, empresas como Johnson & Johnson y Medtronic en la creación de nuevas soluciones médicas para aprovechar toda aquella información recogida por dispositivos médicos, y poder dar respuestas en tiempo real y mejorar la atención en pacientes crónicos y en pacientes críticos en las unidades de cuidados intensivos.

También está participando en empresas como la farmacológica Pfizer en la investigación en inmuno-oncología, ayudando en el descubrimiento de nuevos fármacos y terapias que utilizan el sistema inmunológico del cuerpo, realizando selección de vacunas, e inmunomoduladores para ayudar a combatir el cáncer, redefiniendo el campo de la oncología.

También está participando en el campo de la neurología en colaboración con centros como el Barrow Neurological Institute en Arizona identificando nuevos genes relacionados con la Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA) clasificando los 1.500 genes dentro del genoma humano y proponiendo predicciones sobre cuáles pueden guardar relación con la ELA.

Nosotros llevamos trabajando con el sistema cognitivo Watson desde al año 2015 a través de la tecnológica 50wise, con el programa Watson Ecosystem, desarrollando la plataforma *evision* para ofrecer una solución en el estudio, análisis y gestión de datos no estructurados como imágenes y videos, y trabajando y desarrollando soluciones de encriptado de documentos de acuerdo con la Ley de Protección de Datos. Actualmente estamos realizando dos proyectos adicionales: uno a través del uso de *Watson Visual Recognition* para identificar documentos y detectar falsificaciones, con miras a una futura historia clínica médica personal universal y otro a través de *Watson*

Development Cloud desarrollando todos los contenidos de formación necesarios para la preparación y capacitación técnica del futuro personal que quiera trabajar con el sistema cognitivo Watson.

¿CUÁL ES EL IMPACTO DE LA NANOTECNOLOGÍA EN MEDICINA?

A finales del año 1959 surgió una nueva área de estudio para la ciencia, la tecnología a escala nanométrica, con unidades de longitud del Sistema Internacional de Unidades que equivalen a la mil millonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) o a la millonésima parte de un milímetro, y que expuso de una manera muy visionaria para la época las ventajas que podría aportar trabajar en dicha escala. Sin embargo, estas ventajas no se empezaron a hacer patentes hasta 20 años más tarde con la aparición de nuevas técnicas de fabricación y sobre todo con nuevas técnicas que permitieron entender y controlar en mayor medida la composición, forma, tamaño y propiedades físico-química de estos nanomateriales.

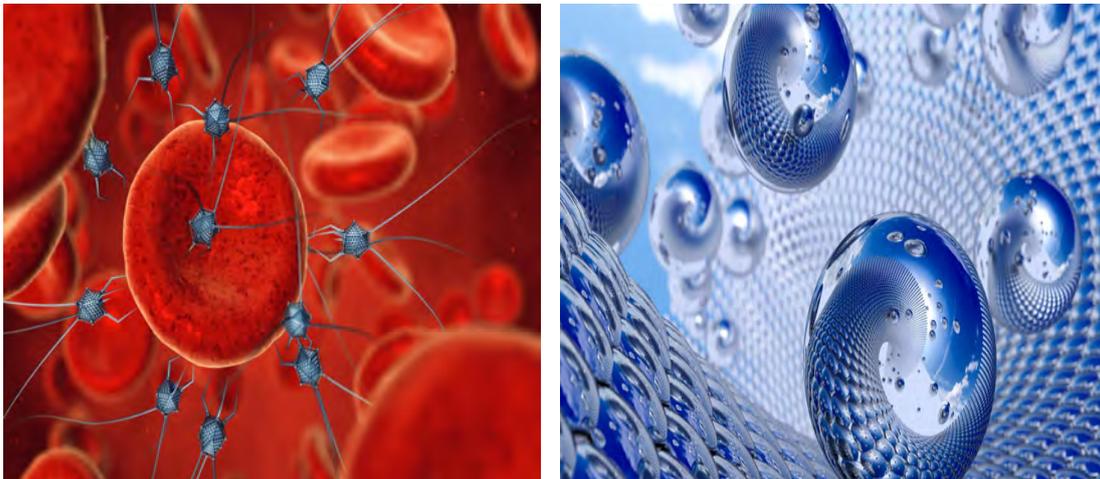


Fig. 14. Nanomateriales en escala nanométrica (materiales con propiedades morfológicas más pequeñas que $1 \mu\text{m}$ en al menos una dimensión)

La influencia de la Nanotecnología en la medicina ha traído consigo una considerable cantidad de avances en el tratamiento de distintas enfermedades como el cáncer, enfermedades degenerativas, patologías cardiovasculares, etc. La nanotecnología es un campo multidisciplinar que comprende áreas como la biología, química, física, ciencia de materiales, ingeniería eléctrica y mecánica, tecnologías de la información, etc., y tiene una gran importancia en campos como la informática, las comunicaciones, la microelectrónica, la biotecnología y la medicina.

En la actualidad, la nanotecnología es un área en crecimiento exponencial muy rápido, siendo la Biotecnología y la Medicina dos de los sectores con más perspectivas de crecimiento y que está

empezando a ser una realidad, tanto en el desarrollo de nuevas técnicas de diagnóstico como en tratamientos terapéuticos más efectivos, dirigidos específicamente a tejidos y órganos dañados.

Probablemente una de las aplicaciones más extendidas a nivel terapéutico, se trata del uso de nanopartículas y nanorrobots con fines terapéuticos, usados como vehículos transportadores para la liberación controlada de fármacos, gracias a que la encapsulación de determinados fármacos en sistemas nanométricos ha demostrado en muchos casos mejorar la estabilidad, solubilidad e incluso la biodistribución del mismo, pudiendo en algunos casos mediante estos nanobots dirigir el fármaco hasta el órgano diana dañado o alterado (células cancerígenas) para actuar de una manera más efectiva y sin causar efectos secundarios indeseables, lo que abre el campo de la farmacogenómica y la medicina personalizada.

De esta manera con la nanotecnología se pueden conseguir medicamentos más efectivos con posibilidad de acción terapéutica con una menor dosis de fármaco, disminuyendo por tanto los posibles efectos secundarios y mejorando la calidad de vida del paciente tratado.

También se emplea la nanotecnología en el campo del diagnóstico con nuevos sistemas tanto de análisis como de obtención de imágenes, con dispositivos más sensibles y a nivel nanométrico, siendo su potencial utilización para la detección de enfermedades en los estadios precoces, con el empleo de nanopartículas como agentes de contraste para marcaje in vivo, lo que proporciona una mejora en la sensibilidad y contraste de las técnicas de imagen, permitiendo la localización y detección de pequeños tumores de otra forma imperceptibles con las técnicas estándar.

Sin embargo, el sector donde se está obteniendo mejores resultados, más rápidos y con una mayor repercusión económica es en el campo del diagnóstico in vitro, ya que gracias a las propiedades físicas que estos nanomateriales los convierten en excelentes candidatos para el desarrollo de sistemas que permitan una detección específica de sustancias químicas y biológicas, con gran precisión y sensibilidad en tiempos muy cortos, lo que supone un gran avance con respecto a las técnicas de análisis clínico habituales, que requieren tiempos de análisis más largos y con técnicas más laboriosas y que requieren de personal más especializado.

Como vemos el enorme avance de la nanotecnología durante las últimas décadas está revolucionando el mundo de la medicina tanto a nivel diagnóstico, con métodos de diagnóstico más sensibles, como terapéutico, con sistemas de administración controlada de fármacos, y con herramientas que permiten incluso la regeneración de tejidos y órganos dañados.

El empleo de drogas nanotransportadas a lugares precisos para el tratamiento del cáncer, o nanorrobots terapéuticos que introducidos en una arteria coronaria puede eliminar los depósitos de colesterol y grasa depositada en la íntima de la arteria coronaria, evitando la implantación posterior de un *stent* o la realización de una potencial cirugía coronaria para revascularización miocárdica, son algunos de los avances que pueden aportar la nanotecnología en el campo médico, pudiendo llegar a ser instrumentos rutinarios en un futuro inmediato.

A través del nanodiagnóstico con nanodispositivos y sistemas de contraste se pueden identificar precozmente las enfermedades en sus estadios iniciales en su primer nivel celular o molecular lo que nos permitiría una capacidad de respuesta rápida (medicina preventiva) con la posibilidad de poder realizar una terapia precoz y evitar la evolución natural de ciertas enfermedades.

Dentro del campo del nanodiagnóstico, existen actualmente dos modalidades emergentes los nanosistemas de imagen basados en el uso de nanopartículas, generalmente, semiconductoras, metálicas o magnéticas, y que podrían en breve sustituir a los marcadores actuales de metales pesados, reduciendo su toxicidad y los nanobiosensores, que son dispositivos integrados en un receptor biológico que pueden ser enzimas o el propio ADN, y que son capaces de detectar en tiempo real y con una alta sensibilidad y selectividad agentes químicos y biológicos. También dentro del diagnóstico tenemos los laboratorios en un chip, que son plataformas integradas y miniaturizadas que realizan complejas reacciones bioquímicas y son un punto clave para el diagnóstico molecular. No obstante, este diagnóstico in vivo todavía no está muy generalizado ya que puede presentar problemas asociados con la biocompatibilidad del material del dispositivo empleado.

Además de emplearse para el diagnóstico, las nanopartículas pueden utilizarse también como agentes terapéuticos y en la nanomedicina regenerativa con la producción de nuevos materiales (como nanotubos de carbono) y sistemas de soporte propicios para la regeneración tisular, y para la asociación con la bioingeniería tisular y la utilización de células madre (embrionarias o adultas).

Trabajos en la Universidad de Northwestern y la Universidad Johns Hopkins (EEUU), han demostrado la efectividad en la aplicación de nanopartículas para detectar y tratar el cáncer a nivel molecular, mostrándose de utilidad en la destrucción de células cancerígenas de pacientes con cáncer de hígado, pulmón o páncreas o el desarrollo de nanosensores fluorescentes capaces de detectar y eliminar el cáncer colorrectal en conjunto con equipos de laparoscopia. En la Universidad del Sur de California, Estados Unidos, también se explora el uso de nanotubos para recrear células neuronales totalmente funcionales, acercando la probable creación de cerebros sintéticos.

No obstante, todavía es necesario hacer un ejercicio de traslación de los resultados experimentales que se están obteniendo en los grupos de investigación trabajando en el sector, hacia el campo clínico, siendo de vital importancia que esta aproximación entre la investigación básica y la clínica (investigación traslacional) tenga lugar lo antes posible para poder explotar lo máximo posible el gran potencial que estas nuevas tecnologías tienen desde un punto de vista biotecnológico y sanitario, seleccionando las más prometedoras y descartando las que no son adecuadas para su implementación.

INGENIERÍA GENÉTICA, INGENIERÍA TISULAR Y BIOINGENIERÍA

Como vemos otro campo espectacular de innovación en la medicina es la ingeniería tisular, bien aislada o asociada con la nanotecnología, y que tiene un futuro muy prometedor para la creación de bancos de órganos como donantes mediante la creación de corazones u otros órganos a partir

de órganos descelularizados por procedimientos físicos, químicos y enzimáticos con posterior vascularización autóloga y recelularización parenquimal heteróloga mediante implante de células pluripotenciales en la malla de colágeno, pudiendo crearse bancos de órganos que se pueden mantener aislados perfundidos y vascularizados en espera de un trasplante.

Otro gran avance tecnológico lo supone la impresión en 3D de órganos, o en un futuro prometedor la impresión en 4D, impresión en cuatro dimensiones, con materiales sintéticos expansibles, capaces de ser programados para cambiar de forma al pasar de un ambiente a otro en función de las condiciones ambientales que lo rodean como temperatura, presión o humedad, y que pueden llegar a ser sustitutivos de los órganos humanos. Actualmente ya se están creando en 3D corazones artificiales de silicona con sus cuatro cavidades con función adecuada in vitro en el duplicador de pulsos lo que puede ser un potencial de futuro cercano al poderse lograr crear unidades totalmente implantables en humanos. Investigadores del centro de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich, ETH, han logrado desarrollar recientemente una estructura internamente compleja como es el primer corazón flexible enteramente artificial, fabricado en una única pieza mediante un molde de cera perdida impresa en 3D, con el mismo tamaño (390 gramos) y capacidad (unos 679 cm³) y que late igual que un corazón humano,.



Fig. 15. Corazón de silicona realizado con impresión 3D

Otro gran avance espectacular viene de la mano de la ingeniería genética con la edición genética y la creación de quimeras, con implante de células humanas diferenciadas en animales, investigaciones que se están realizando en el Salk Institute de California para la creación de órganos, y que puede ser también un futuro muy prometedor en el campo de los trasplantes. O la creación de animales transgénicos mediante biología molecular con la técnica del CRISPR de repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas de secuencias de bases nitrogenadas y la edición génica del ADN junto con las células madre que puede ser un futuro revolucionario en el campo de los xenotrasplantes pudiendo crearse órganos humanos en cerdos que posteriormente puedan ser utilizados como potenciales donantes. O las técnicas en las que actualmente estamos trabajando de criopreservación y vitrificación de corazones con

técnicas combinadas de criopreservación y nanotecnología, empleando en el momento de la criopreservación nanopartículas férricas que se acoplan con el hielo, para evitar las lesiones tisulares del frío sobre la membrana celular y preservando la viabilidad futura en el momento del descongelado.

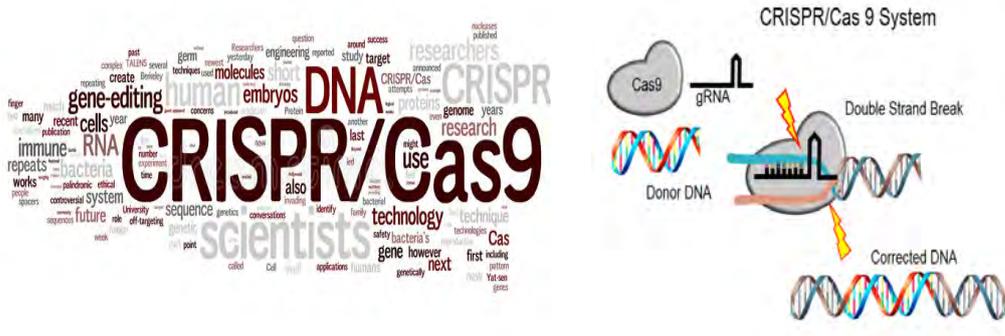


Fig.16. Ingeniería Genética. Técnica del CRISPR

Todas estas técnicas pueden suponer a medio plazo un cambio de paradigma en el campo de los trasplantes dando la posibilidad a que todos los pacientes en espera de trasplante tengan al momento un donante óptimo evitando de esta manera que como sucede actualmente más de las dos terceras partes de las personas en lista de espera a nivel mundial mueran en espera de un donante y además disminuyendo las posteriores complicaciones de los rechazos.

¿CUÁL ES EL IMPACTO DE LA ROBOTICA EN MEDICINA?

Hace una década los robots no tenían una participación tan directa en la vida de los humanos como en la actualidad, ya que solían funcionar solamente en entornos industriales. Pero esta tendencia está cambiando gracias a la llegada de los asistentes virtuales, drones y robots domésticos, y la robótica ya está implementada desde hace años en la asistencia socio sanitaria.

La presencia de la robótica se multiplicará en la sociedad de manera exponencial en los próximos años, sustituyendo los robots humanoides en parte a los cuidadores de ancianos y cuidadores de pacientes crónicos tanto en las futuras residencias medicalizadas e interconectadas con uHealth, como en algunos hogares para la realización de tareas cotidianas, cuidados de salud, emisión de signos vitales y videovigilancia e incluso sustituirán a médicos en la realización de complejos diagnósticos médicos antes del 2019 procesando de manera inmediata la gran cantidad de datos estructurados y de información acumulada en el *Big Data* y sustituirán a los cirujanos para operaciones rutinarias que no requieran de una gran especialización antes del 2020.

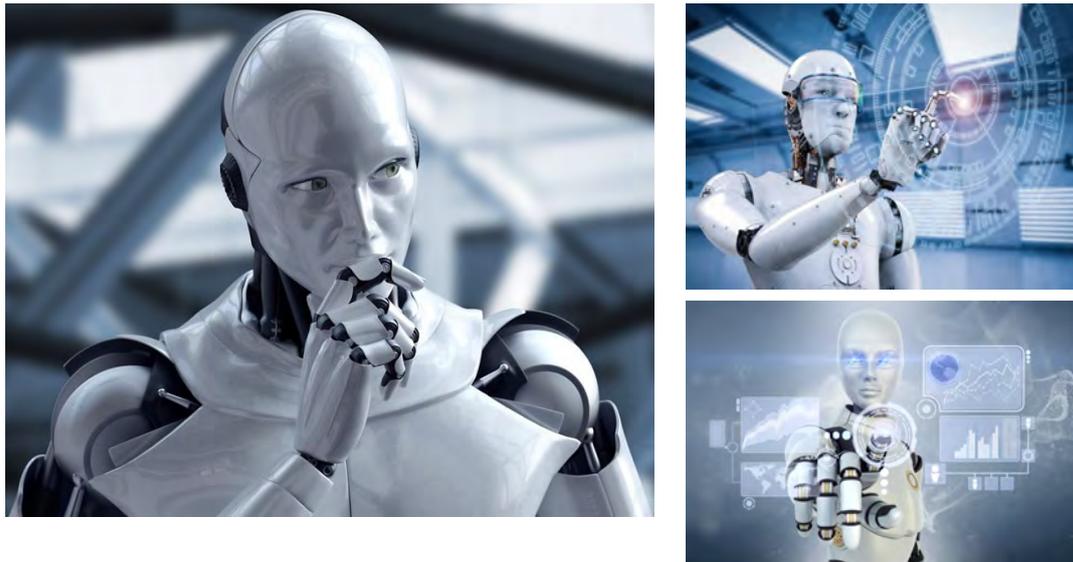


Fig.17. Robots humanoides

La robótica en medicina está originando un cambio de paradigma en las actuaciones terapéuticas, sobre todo en las quirúrgicas, y un hecho no refutable lo podemos encontrar con el uso del robot quirúrgico Da Vinci con más de 4000 publicaciones refrendadas por la FDA y usado en el 80% de las prostatectomías radicales realizadas en EEUU en el 2008.

Este rápido crecimiento de la robótica en la medicina es consecuencia de la combinación de las mejoras tecnológicas (motorización, materiales, software) y en los avances de los diagnósticos por imágenes médicas (RNM, ultrasonidos 3D) y un incremento de la aceptación por parte de los cirujanos y de los pacientes de estas disciplinas sobre todo debido a los espectaculares avances con los procedimientos laparoscópicos. El mayor impacto de la robótica ha sido en los procedimientos quirúrgicos, sobre todo en la radiocirugía y en la cirugía de manipulación de tejidos debido a la gran precisión que proporciona la asistencia robótica lo que posibilita unos mejores resultados quirúrgicos, reduciendo el trauma quirúrgico y la estancia hospitalaria.

Uno de los campos donde está más introducida la cirugía robótica es en la neurocirugía gracias a la gran precisión de actuación que se puede obtener con la asistencia robótica en un área tan delicada mediante procedimientos dirigidos mediante las imágenes. La primera experiencia reportada en este campo fue en el 1985 en que se realizó una biopsia cerebral utilizando imágenes de TAC y mediante estereotaxia utilizando un robot industrial para orientar la aguja hacia la zona seleccionada.



NeuroMate (Renishaw)



Pathfinder (Prosurgics)



Renaissance (Mazor Robotics)

Fig. 18. Robots utilizados en neurocirugía y traumatología

Otro gran avance es en la cirugía laparoscópica, ya que con anterioridad al 1980 los procedimientos quirúrgicos generales se realizaban mediante cirugía abierta a través de grandes incisiones que permitían al cirujano el acceso a las zonas anatómicas deseadas siendo a finales de los 80 cuando gracias a los grandes avances en el campo de las ópticas y las cámaras fue posible el desarrollo de cirugías mínimamente invasivas o laparoscópicas, reduciendo el trauma quirúrgico y la estancia hospitalaria, posibilitando en el 1988 la primera resección de tejidos mediante una resección transuretral de próstata por medio de un robot industrial.

El gran avance ha sido sin duda con la aparición del robot Da Vinci, desarrollado en 1995, como una sofisticada plataforma robótica diseñada por Intuitive Surgical que se compone de una consola ergonómica desde la que el cirujano opera y situando al lado del paciente una torre de visión (formada por controladores, vídeo, audio y procesadores de imagen) junto con los cuatro brazos quirúrgicos robóticos interactivos controlados desde la consola, en el extremo de los cuales se encuentran acopladas las distintas herramientas necesarias para operar, tales como bisturís, tijeras, unipolar, etc. ofreciendo una visión tridimensional de la zona intervenida. El robot da Vinci no es autónomo y requiere de la intervención y toma de decisiones de un profesional que actúa como cirujano operando desde la consola, ofreciendo una opción mínimamente invasiva en procedimientos de cirugía compleja, superando las limitaciones propias de la cirugía abierta y laparoscópica, potenciando en términos de visión, precisión y control las habilidades del cirujano siendo utilizado para múltiples procedimientos quirúrgicos, incluida la cirugía cardiovascular.



Fig.19. Robot quirúrgico Da Vinci

Otro gran avance de la robótica es en la radiocirugía mediante la cual la radiación ionizante se puede dirigir exactamente hacia el tumor seleccionado, quedando libres de radiación las zonas no afectadas. También se está utilizando la cirugía robótica en traumatología para realizar resecciones óseas más precisas y para mejorar el alineamiento de las prótesis de rodilla y de cadera en las zonas articulares. Otra de las áreas donde se está desarrollando más la aplicación de la robótica en la medicina es en la rehabilitación con el desarrollo de exoesqueletos robotizados.

IMPLICACIONES LEGALES DE LA IA Y LA ROBÓTICA

Desde hace unos años la sociedad científica está empezando a demandar la necesidad de determinar las responsabilidades legales, éticas y morales, que se derivan del uso de los robots y aunque trazar una línea divisoria entre humanos y robots hoy en día no parece complicado, las últimas tecnologías están difuminando los aspectos diferenciadores a nivel externo entre persona y robot, y cada vez hay más voces que solicitan a los gobiernos la creación de un marco legal que delimite las responsabilidades de la robótica, ya que si bien los robots en principio no podrían ser acusados de intencionalidad, según algunos expertos juristas sí que pueden ser considerados en cierta medida responsables de sus acciones en el sentido legal del término.

En primer lugar sería importante definir si los robots pueden tener una personalidad jurídica propia y definir quién debe asumir la responsabilidad de sus acciones en caso de negligencia por omisión de funciones o fallo en su actuación, y quién tiene la responsabilidad en el caso de robots autónomos, ya que entonces ya no se les puede considerar simples instrumentos en manos de personas, lo que hace insuficiente la normativa general actual sobre responsabilidad y se precisan de nuevas normas y regulaciones que nos marquen a nivel legal en qué manera un robot o incluso sus diseñadores y programadores pueden considerarse en manera total o parcial responsable de bien sus actos o sus omisiones.

Esto que nos puede parecer de ciencia ficción ya es una realidad en nuestro mundo actual y un estudio del Gobierno británico publicado en el 2006 vaticinó que en los próximos 50 años los robots demandarían los mismos derechos que actualmente ostentan los humanos, preparando el Centro de Investigación Europeo de Robótica un código de pautas y conductas respecto al uso de robots.

También recientemente en octubre de 2016 en Estados Unidos, bajo el mandato del presidente Obama se desarrolló el Plan Estratégico Nacional de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial y aún más avanzados en estos aspectos van países como Japón, China o Corea del Sur donde ya hay leyes y normas específicas para robots. Corea del Sur, una de las naciones más tecnificadas del planeta y donde la robótica es una de las claves del crecimiento económico del país con inversiones de millones de euros anuales en investigaciones en el campo de la robótica, recientemente publicaron un código ético para regular las interacciones entre robots y humanos, recogiendo una serie de principios que afectan tanto a los fabricantes robóticos como a los mismos usuarios finales.

En nuestro Parlamento Europeo recientemente en mayo de este año también se ha debatido, a partir de una propuesta firmada por una eurodiputada, un informe de proyecto de regulación de la robótica en el marco de los derechos civiles europeos, en la que se proponía la creación de un estatuto jurídico específico de modo que al menos los robots autónomos más complejos puedan ser considerados personas electrónicas con derechos y obligaciones específicos, incluida la obligación de reparar los daños que puedan causar, y que los robots autónomos sofisticados pudieran tener la condición de personas electrónicas con una personalidad jurídica específica. Dicha personalidad electrónica se aplicaría a los supuestos en que los robots puedan tomar decisiones autónomas inteligentes o interactuar con terceros de forma independiente.

También se propuso la creación de un seguro obligatorio para fabricantes y propietarios para poder responder por los daños causados por los robots y la creación de un régimen de responsabilidad limitada para el fabricante, el programador, el propietario o el usuario en la medida en que los robots inteligentes autónomos dispondrían de un fondo de compensación generado a través de la remuneración de los servicios realizados, con la creación de un registro específico de la Unión que garantice la asociación entre el robot y el fondo del que depende, y que permita que cualquier persona que interactúe con el robot esté al corriente de la naturaleza del fondo, los límites de su responsabilidad en caso de daños materiales, los nombres y las funciones de los participantes. También se habló de la creación de un canon, bien único al introducir el robot en el mercado o mediante pagos parciales periódicos a lo largo de la vida útil del robot.

El escritor Isaac Asimov, describió en su día, las tres Leyes de la Robótica, que aparecen formuladas por primera vez en 1942, en el relato "Círculo vicioso". Estas leyes son formulaciones matemáticas, en los senderos positrónicos del cerebro de los robots, siendo un conjunto de normas impresas que tienen diseñadas para cumplir y que básicamente dicen: Un robot no hará daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño. Un robot debe hacer o realizar las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la 1ª Ley. Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la 1ª o la 2ª Ley.

Los robots y la inteligencia artificial empiezan a plantear ya en el momento actual debates jurídicos, económicos, sociológicos y morales, y por ejemplo destacan las cuestiones sobre la propiedad industrial e intelectual, o sobre la legalidad del uso masivo de datos o *Big Data*, mediante algoritmos avanzados, sobre si los datos tienen un valor determinante o lo importante es el algoritmo para obtener los resultados y como proteger el algoritmo.



Fig. 20. Robot de Teleconsulta y de vigilancia Intensiva en Hospitales

La propia Unión Europea ha financiado el Proyecto Robot-Law para el estudio y sistematización de las fundamentos éticos y jurídicos sobre los que asentar la normativa que regulará esta materia, la relación entre Inteligencia Artificial y Derecho, y en vista de que los robots se hacen fuertes en las empresas y están revolucionando los entornos de trabajo, para adelantarse a un futuro con puestos totalmente automatizados, sobre la mesa del Parlamento Europeo descansa una propuesta, conocida como Informe sobre Personas Electrónicas, que pretende que las máquinas inteligentes paguen impuestos y coticen a la Seguridad Social, y también se estudia la posibilidad de gravar a ciertas máquinas como si fueran personas ante el avance de la inteligencia artificial en las empresas, aunque eso exigiría una profunda revisión de las leyes comunitarias.

El ciudadano en general está preparado para aceptar estos nuevos cambios sociales en el entorno sanitario y debe acostumbrarse a que la IA y la robótica va a aportarles beneficios y aceptar la presencia de la IA y la robótica en el campo sanitario igual que se han acostumbrado y han aceptado la evolución tecnológica y la IA y robótica en otras facetas de la vida cotidiana, pero se necesita que por parte de los gobiernos se creen estándares de calidad y se determine un marco de referencia regulatorio que sea aplicable y obligatorio en este nuevo sector, así como incentivos adecuados para fomentar la implementación de estas nuevas tecnologías y desarrollos, de manera que la IA y la robótica sean vistos como elementos facilitadores para hacer los cuidados de salud

más accesibles y más asequibles, eficientes y sostenibles. También se necesita que por parte de los profesionales de los cuidados de salud, entiendan que la IA y la robótica no vienen a sustituirlos en sus puestos de trabajo sino a trabajar para y con ellos.

El sector industrial y de investigación y desarrollo, deben de centrarse en el desarrollo de tecnologías que den soluciones prácticas reales a la gran demanda existente en el sector salud de manera que estas puedan ser aceptadas e implementadas por fases, por parte de los responsables políticos y administrativos de las instituciones sanitarias.

La innovación en IA y en robótica está en el centro de nuestra posibilidad de redefinir como proporcionar cuidados de salud de calidad a nuestros ciudadanos hacia una medicina más equitativa y más personalizada y hay que crear oportunidades para transformar lo que ha sido la provisión de salud por medio tradicionales a través de los clínicos, y en los hospitales y empezar a cambiar las infraestructuras legales y los incentivos gubernamentales para potenciar el cambio.

El público en general está listo y receptivo para el cambio y la adopción de estos modelos tecnológicos. El poder transformativo de la tecnología tiene la potencialidad de desarrollar lo fundamental y necesario para cambiar del cuidado de salud agudo y reactivo hacia un cuidado más personal y proactivo.

Hay una gran oportunidad para los países con sistemas de salud establecidos, pero todavía hay más para los países con Sistemas de salud en desarrollo, porque en estos no hay todavía el mismo nivel de infraestructura legal como en los ya establecidos que dificulte su entrada e implementación. Además, su población es más joven y de mejor comprensión tecnológica. En aquellos países que estén todavía iniciando y desarrollando su Sistema de salud de acceso universal, serán más susceptibles de aceptar cambios tecnológicos avanzados para rellenar las ausencias de oferta.

¿HACIA DONDE VAMOS? MEDICINA PROACTIVA Y PERSONALIZADA. GESTIÓN DE CRÓNICOS

Estamos entrando en una nueva era de la medicina y de la gestión de la salud y de los servicios sanitarios. La salud es algo que nos interesa a todos tanto de manera individual como a nivel colectivo, formando parte del Estado del Bienestar y teniendo grandes implicaciones tanto políticas, como económicas y sociales. Los modernos Sistemas Sanitarios hoy en día son capaces de realizar diagnósticos y tratar y curar muchas enfermedades que antes se consideraban incurables, incluso el cáncer y paralelamente al incremento en calidad de la atención, a la mejora en el acceso a las instituciones sanitarias, los costes sanitarios siguen creciendo con el peligro de llegar a ser insostenibles con la política de financiación y de provisión de servicios actuales.

Estamos pasando de la última década con gran proliferación de desarrollo de productos médicos: equipos, dispositivos implantables, hardware, etc, en los que la diferenciación radica solo, está limitada a la innovación de los productos basados en datos de evidencia clínica, a la época actual

de plataformas médicas con dispositivos y aplicaciones, utilizando el Big Data, y yendo hacia un futuro inmediato, la próxima década con el desarrollo de soluciones médicas, IA, realidad aumentada, y robótica en donde la diferenciación radica en soluciones inteligentes y con enfoque a la medicina preventiva y la medicina personalizada.



Fig.21. Esquema de Gestión de Pacientes Crónicos

Dentro de este nuevo ecosistema creado la IA y la robótica juegan un papel emergente y exponencial creciente.

¿Cuál es el papel de la IA y la robótica como actores dentro de la sanidad?

¿Cuál es el futuro rol del profesional sanitario humano?

Cada vez más tanto los encargados de las políticas sanitarias, como los gestores, los financiadores, los proveedores de servicios asistenciales y los ciudadanos se plantean más estas dos cuestiones preguntando a la ciudadanía:

¿Permitirían que un robot con IA examinara, diagnosticara y realizara un tratamiento para usted o para un miembro de su familia?

¿Aceptarían que un cirujano le realizara una cirugía mediante el empleo de un robot a distancia?

¿Aceptarían que les realizara la cirugía directamente un robot en vez de un humano?

La IA y la robótica han estado durante muchos años encuadrados dentro de la literatura de la ciencia ficción y en el cine. Desde los años 50 con Isaac Asimov en "Yo robot", pasando por Star Trek y su tricorder en los 80, hasta ahora mismo en el 2016 con "Baymax" el robot cuidador de Big Hero 6, siempre hemos estado fascinados con las potenciales posibilidades de lo que la IA y los robots pueden mejorar el mundo de la medicina.

Hasta ahora la UE solo cuenta con ciertas normas orientadas a la estandarización de patrones industriales allí donde se emplea la robótica, pero carece de leyes que regulen la interacción social entre seres humanos y autómatas, siendo necesario un marco normativo que se preocupe por la seguridad, la privacidad, la integridad, la dignidad, la autonomía y la propiedad de los datos.

Los eurodiputados han planteado recientemente la creación a largo plazo de un "estatus jurídico específico" de "persona electrónica" con "derechos y obligaciones" que se aplique al menos a los robots más sofisticados. La Cámara pidió a la Comisión la proposición de una legislación en el ámbito de la robótica y la inteligencia artificial, para aprovechar al máximo su potencial económico y garantizar niveles equiparables de seguridad en toda la Unión, para no verse obligada a seguir los principios establecidos por terceros países.

Como principios generales de esta regulación, la Comisión planteó una propuesta de Directiva sobre las reglas del Derecho civil en materia de robótica presentada en el Parlamento Europeo siguiendo los cuatro principios de la bioética, definidos en 1979, por Beauchamp y Childress, de Principio de Beneficencia, por el cual, los robots deben actuar siempre en beneficio del hombre; Principio de no maleficencia, por el que establece la doctrina de primero, no hacer daño, en virtud del cual los robots no deberían nunca perjudicar a las personas; Principio de Autonomía, con la capacidad de tomar una decisión con conocimiento de causa e independiente sobre los términos de interacción con los robots; y Principio de Justicia o de distribución justa de los beneficios asociados a la robótica y la asequibilidad de los robots utilizados en el ámbito de la asistencia sanitaria a domicilio y de los cuidados sanitarios en particular.

En este ANEXO está detallado textualmente la propuesta de Directiva sobre las reglas del Derecho civil en materia de robótica presentada en el Parlamento Europeo

1. Considerando que, desde el monstruo de Frankenstein creado por Mary Shelley al mito clásico de Pigmalión, pasando por el Golem de Praga o el robot de Karel Capek, los seres humanos han fantaseado siempre con la posibilidad de construir máquinas inteligentes, sobre todo androides con características humanas;
2. Considerando que, ahora que la humanidad se encuentra a las puertas de una era en la que robots, bots, androides y otras formas de inteligencia artificial cada vez más sofisticadas parecen dispuestas a desencadenar una nueva revolución industrial que va a afectar probablemente a todos los estratos de la sociedad, resulta de vital importancia que el legislador tenga en cuenta todas las consecuencias que ello entraña;
3. Considerando que, entre 2010 y 2014, las ventas de robots aumentaron un 17 % de media cada año, que en 2014 las ventas registraron el mayor incremento anual observado hasta ahora a saber, un 29 %, y que los principales motores de este crecimiento son los proveedores de componentes de automoción y la industria electrónica y eléctrica; que, a lo largo del último decenio, se han triplicado las solicitudes anuales de patentes en el sector de la tecnología robótica;
4. Considerando que, a corto y medio plazo, se espera que la robótica y la inteligencia artificial traigan consigo eficiencia y ahorro, no solo en la producción y el comercio, sino

- también en ámbitos como el transporte, la asistencia sanitaria, la educación y la agricultura, y que, gracias a ellas, se podrá evitar que los seres humanos se expongan a condiciones peligrosas, como, por ejemplo, las que entraña la limpieza de lugares contaminados con sustancias tóxicas; que, a largo plazo, el potencial para generar prosperidad es prácticamente ilimitado;
5. Considerando que, al mismo tiempo, el desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial puede conllevar que los robots asuman gran parte del trabajo que ahora realizan los seres humanos, cuestión ésta que genera interrogantes sobre el futuro del empleo y la viabilidad de los sistemas de seguridad social en caso de que se mantenga la actual base fiscal, y que podría acarrear una mayor desigualdad en la distribución de la riqueza y el poder;
 6. Considerando que, entre las cuestiones que suscitan preocupación, se halla también la de la seguridad física, en caso, por ejemplo, de que la programación de un robot falle, así como la de las posibles consecuencias de un fallo del sistema o de ataques informáticos contra robots interconectados y sistemas robóticos en un momento en el que empiezan a usarse, o están a punto de usarse, aplicaciones cada vez más autónomas, ya sea en relación con automóviles y drones, robots asistenciales o robots utilizados a fines policiales y de mantenimiento del orden público;
 7. Considerando que muchas cuestiones básicas de la protección de datos ya son objeto de examen en el marco general de internet y del comercio electrónico, pero que quizá sea necesario abordar otros aspectos relativos a la propiedad de los datos y la protección de los datos personales y la privacidad, habida cuenta de que las aplicaciones y los dispositivos comunicarán entre sí y con las bases de datos sin intervención humana alguna, o incluso sin que nadie tenga conocimiento de ello;
 8. Considerando que, aunque quizá resulte difícil valorar las «consecuencias invisibles» que esto tendrá para la dignidad humana, será necesario examinarlas en caso de que los robots sustituyan a los humanos a la hora de prestar cuidados y hacer compañía; que las cuestiones de la dignidad humana también pueden plantearse en el contexto de la rehabilitación y de las intervenciones en el cuerpo humano;
 9. Considerando que, en última instancia, existe la posibilidad de que, dentro de unos decenios, la inteligencia artificial supere la capacidad intelectual humana de un modo tal que, de no estar preparados para ello, podría suponer un desafío a la capacidad de la humanidad de controlar su propia creación y, por ende, quizás también a la capacidad de ser dueña de su propio destino y garantizar la supervivencia de la especie;
 10. Considerando que en varios países extranjeros, como los EE.UU., Japón, China y Corea del Sur, se están planteando adoptar medidas reguladoras en el ámbito de la robótica y la inteligencia artificial, y que en algunos casos ya han empezado a hacerlo; que algunos Estados miembros han empezado también a reflexionar sobre posibles cambios legislativos a fin de tener en cuenta las nuevas aplicaciones de dichas tecnologías;
 11. Considerando que la industria europea pueda beneficiarse de un enfoque regulador coherente a escala europea, que defina unas condiciones previsibles y lo suficientemente claras gracias a las cuales las empresas puedan desarrollar aplicaciones y planificar sus modelos de negocio a escala europea, y que garantice al mismo tiempo que la Unión y sus Estados miembros mantengan el control sobre la reglamentación que se ha de establecer, de modo que no se vean obligados a adoptar normas establecidas por otros

- es decir, por terceros Estados que también encabezan el desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial o a vivir sometidas a ellas;
12. Considerando que, hasta que los robots sean conscientes de su propia existencia o sean fabricados con esa cualidad, si es que ese momento llega algún día, debe entenderse que las leyes de Asimov de que, Un robot no debe hacer daño a un ser humano ni, por inacción, dejar que este sufra un daño; Un robot debe obedecer las órdenes que recibe de un ser humano, excepto cuando tales órdenes entran en conflicto con la primera ley; Un robot debe proteger su propia existencia siempre que dicha protección no entre en conflicto ni con la primera ni con la segunda ley y de que un robot no debe hacer daño a la humanidad ni, por omisión, dejar que esta sufra un daño; van dirigidas a los diseñadores, fabricantes y operadores de robots, dado que dichas leyes no pueden traducirse en código de máquina;
 13. Considerando, no obstante, que es necesario disponer de una serie de normas en materia de responsabilidad y deontología que reflejen los valores intrínsecamente europeos y humanistas que caracterizan la contribución de Europa a la sociedad;
 14. Considerando que la Unión podría desempeñar un papel esencial a la hora de establecer principios éticos básicos de obligado cumplimiento para el desarrollo, la programación y la utilización de robots y de la inteligencia artificial, así como para la incorporación de dichos principios en la normativa y los códigos de conducta europeos, con el fin de conformar la revolución tecnológica de modo que sirva a la humanidad y se compartan al máximo los beneficios de una robótica avanzada y de la inteligencia artificial, evitando, dentro de lo que cabe, posibles escollos;
 15. Considerando que, en Europa, corresponde adoptar un enfoque gradual, prudente y pragmático como el que propugnaba Jean Monnet;
 16. Considerando que, dada la fase alcanzada en el desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial, procede empezar por las cuestiones relativas a la responsabilidad civil y examinar si una responsabilidad objetiva, basada en quien esté en mejores condiciones de ofrecer garantías, no constituiría el mejor punto de partida;
 17. Considerando que, gracias a los impresionantes avances tecnológicos de la última década, no es solo que los robots puedan realizar hoy en día actividades otrora típica y exclusivamente humanas, sino que el desarrollo de rasgos cognitivos y autónomos como la capacidad de aprender de la experiencia y tomar decisiones independientes, ha hecho que estos robots se asimilen cada vez más a agentes que interactúan con su entorno y son capaces de modificarlo de forma significativa; que, en este contexto, la responsabilidad jurídica derivada de la actuación perjudicial de un robot se torna una cuestión crucial;
 18. Considerando que la autonomía de un robot puede definirse como la capacidad de tomar decisiones y aplicarlas en el mundo exterior, con independencia de cualquier control o influencia externa; que esa autonomía es puramente tecnológica y que su grado depende del grado de complejidad de la interacción del robot con su entorno que se haya previsto al diseñarlo;
 19. Considerando que, cuanto más autónomos sean los robots, menos se los podrá considerar simples instrumentos en manos de otros agentes (como el fabricante, el propietario, el usuario, etc.); que, debido a esto, la normativa general sobre

- responsabilidad resulta insuficiente y precisa de nuevas normas que se centren en cómo una máquina puede considerarse parcial o totalmente responsable de sus actos u omisiones; que, como consecuencia de ello, resulta cada vez más urgente abordar la cuestión fundamental de si los robots deben tener personalidad jurídica;
20. Considerando que, en definitiva, la autonomía de los robots suscita la cuestión de su condición y pertenencia a una de las categorías jurídicas existentes, es decir, si deben considerarse personas físicas, personas jurídicas, animales u objetos, o de la creación de una nueva categoría, con sus propias características y repercusiones en lo que se refiere a atribución de derechos y obligaciones, incluida la responsabilidad por daños;
 21. Considerando que, en el actual marco jurídico, los robots no pueden, en sí mismos, ser considerados responsables de los actos u omisiones que causan daño a terceros; que las normas vigentes en materia de responsabilidad abarcan aquellos casos en los que es posible remontarse hasta un agente humano concreto, como el fabricante, el propietario o el usuario, a quien imputar la acción u omisión del robot, y en los que dicho agente podría haber previsto y evitado la actuación perjudicial del robot; que, además, los fabricantes, los propietarios o los usuarios podrían ser considerados objetivamente responsables de los actos u omisiones de un robot si, por ejemplo, el robot estuviera clasificado como un objeto peligroso o entrara dentro del ámbito de aplicación de la normativa sobre responsabilidad por daños causados por productos defectuosos;
 22. Considerando que, en el supuesto de que un robot pueda tomar decisiones autónomas, la normativa tradicional no bastará para establecer su responsabilidad, ya que con ella no se puede ni determinar la parte que ha de hacerse cargo de la indemnización, ni exigir a dicha parte que repare el daño ocasionado;
 23. Considerando que las deficiencias del actual marco jurídico se constatan en el ámbito de la responsabilidad contractual en la medida en que la existencia de máquinas concebidas para elegir a sus contrapartes, negociar cláusulas contractuales, celebrar contratos y decidir si estos se aplican y cómo imposibilita la aplicación de las normas tradicionales, lo que pone de relieve la necesidad de adoptar nuevas normas actualizadas;
 24. Considerando que, en materia de responsabilidad extracontractual, la Directiva 85/374/CEE del Consejo, de 25 de julio de 1985, solo cubre los daños ocasionados por los defectos de fabricación de un robot a condición de que el perjudicado puede demostrar el daño real, el defecto del producto y la relación de causa a efecto entre el defecto y el daño (responsabilidad objetiva o responsabilidad sin culpa);
 25. Considerando que, pese al ámbito de aplicación de la Directiva 85/374/CEE, el marco jurídico actual no sería suficiente para cubrir los daños causados por la nueva generación de robots, en la medida en que se les puede dotar de capacidades de adaptación y aprendizaje que entrañan un cierto grado de imprevisibilidad en su comportamiento, ya que podrían aprender de forma autónoma de su propia experiencia variable e interactuar con su entorno de forma única e imprevisible;

PIDE:

1. Pide a la Comisión que proponga una definición europea común de robot autónomo inteligente y de sus distintas subcategorías, tomando en consideración las siguientes características de un robot inteligente:
 - a. adquiere autonomía mediante sensores y/o mediante el intercambio de datos con su entorno (interconectividad), e intercambia y analiza datos,
 - b. dispone de capacidad de autoaprendizaje (criterio facultativo), o tiene un soporte físico, o adapta su comportamiento y acciones al entorno;
2. Considera que debe crearse un sistema de registro de robots avanzados y pide a la Comisión que establezca criterios para la clasificación de los robots con vistas a identificar a aquellos que tendrían que registrarse;
3. Subraya que muchas aplicaciones robóticas están todavía en fase experimental; se congratula de que cada vez se estén financiando más proyectos de investigación con fondos nacionales y europeos; pide a la Comisión y a los Estados miembros que refuercen los instrumentos financieros destinados a apoyar proyectos de investigación en materia de robótica y TIC; destaca que es necesario destinar recursos suficientes para buscar soluciones a los retos sociales y éticos que plantean el desarrollo tecnológico y sus aplicaciones;
4. Pide a la Comisión que fomente los programas de investigación que incluyan un mecanismo de comprobación de los resultados a corto plazo para entender cuáles son los verdaderos riesgos y oportunidades asociados con la difusión de estas tecnologías; pide a la Comisión que aúne todos sus esfuerzos para velar por que, en estas tecnologías, se produzca una transición fluida, que abarque desde la investigación hasta la comercialización en el mercado;
5. Señala que el potencial de empoderamiento que encierra el recurso a la robótica se ve matizado por una serie de tensiones o riesgos relacionados con la seguridad humana, la intimidad, la integridad, la dignidad, la autonomía y la propiedad de los datos;
6. Considera que es preciso un marco ético que sirva de orientación en materia de diseño, producción y uso de los robots, a fin de complementar las recomendaciones jurídicas expuestas en el presente informe, y el acervo nacional y de la Unión en vigor; propone, en el anexo a la presente Resolución, un marco en forma de carta que comprenda un código de conducta para los ingenieros en robótica, un código deontológico destinado a los comités de ética de la investigación para la revisión de los protocolos de robótica, y licencias tipo para los diseñadores y los usuarios;
7. Señala que este marco ético orientador debe basarse en los principios de beneficencia,
8. no maleficencia y autonomía, así como en los principios consagrados en la Carta de los derechos fundamentales de la Unión, como la dignidad humana y los derechos humanos, la igualdad, la justicia y la equidad, la no discriminación y no estigmatización, la autonomía y la responsabilidad individual, el consentimiento informado, la privacidad y la responsabilidad social, además de en los actuales códigos y prácticas éticas;
9. Defiende la creación de una agencia europea para la robótica y la inteligencia artificial que proporcione la experiencia técnica, ética y normativa necesaria para apoyar la labor de los agentes públicos pertinentes, tanto a nivel de la Unión como a nivel de los Estados

- miembros, a la hora de garantizar una respuesta oportuna y bien informada ante las nuevas oportunidades y retos que plantea el desarrollo tecnológico de la robótica;
10. Considera justificado, en vista del potencial recurso a la robótica y de la actual dinámica de inversiones, que esa agencia europea esté dotada de un presupuesto adecuado y de un personal compuesto por expertos en reglamentación, expertos técnicos y expertos en deontología externos dedicados a controlar, desde un punto de vista intersectorial y pluridisciplinar, las aplicaciones basadas en la robótica, a determinar las normas en que se basan las mejores prácticas y, en su caso, a recomendar medidas reguladoras, definir nuevos principios y hacer frente a posibles problemas de protección de los consumidores y desafíos sistémicos; pide a la Comisión y a la agencia europea que informen anualmente al Parlamento de los últimos avances que se produzcan en robótica;
 11. Constata que no hay ninguna disposición jurídica que se aplique específicamente a la robótica, pero que las doctrinas y los regímenes jurídicos vigentes pueden aplicarse fácilmente a esta, aunque algunos aspectos requieran especial consideración; pide a la Comisión que proponga un enfoque equilibrado en materia de derechos de propiedad intelectual aplicados a las normas sobre equipos y programas informáticos, así como códigos que protejan la innovación y, al mismo tiempo, la estimulen; pide a la Comisión que elabore criterios relativos a una «creación intelectual propia» aplicables a las obras protegidas por derechos de autor creadas por ordenadores o robots;
 12. Pide a la Comisión y a los Estados miembros que velen por que, en la elaboración de cualquier política de la Unión en materia de robótica, se incorporen garantías relativas a la privacidad y la protección de datos, de conformidad con los principios de necesidad y proporcionalidad; pide, en este sentido, a la Comisión que fomente el establecimiento de normas sobre los conceptos de protección de la intimidad desde el diseño y de protección de datos por defecto, y sobre el consentimiento informado y el cifrado;
 13. Señala que el uso de datos personales como «moneda de cambio» con la que se pueden «adquirir» servicios plantea nuevas cuestiones que necesitan ser aclaradas; hace hincapié en que el uso de datos personales como «moneda de cambio» no debe dar lugar al incumplimiento de los principios básicos que regulan el derecho a la intimidad y la protección de datos;
 14. Pide a la Comisión que continúe trabajando en pos de la armonización internacional de las normas técnicas, en particular junto con los organismos europeos de normalización y la Organización Internacional de Normalización, a fin de evitar la fragmentación del mercado interior y responder a las preocupaciones de los consumidores; pide a la Comisión que analice la legislación europea vigente con el fin de comprobar la necesidad de adaptarla en vista del desarrollo de la robótica y la inteligencia artificial;
 15. Hace hincapié en que los ensayos de robots en escenarios reales es esencial para determinar y evaluar los riesgos que estos puedan entrañar, así como su desarrollo tecnológico más allá de la mera fase de laboratorio experimental; subraya, a este respecto, que los ensayos de robots en escenarios reales, en particular, en ciudades y carreteras, plantea numerosos problemas y exige un mecanismo de seguimiento eficaz; pide a la Comisión que elabore criterios uniformes en todos los Estados miembros para que estos puedan identificar los ámbitos en los que los experimentos con robots están permitidos;

16. Señala que el contacto humano es uno de los aspectos fundamentales de los cuidados; considera que sustituir a las personas por robots podría deshumanizar la prestación de cuidados;
17. Subraya la importancia de una formación y una preparación adecuadas de los médicos y auxiliares sanitarios con el fin de garantizar el nivel más elevado posible de competencia profesional, y de proteger la salud de los pacientes; hace hincapié en la necesidad de definir los requisitos profesionales mínimos que deberá cumplir un cirujano para poder utilizar los robots quirúrgicos; subraya la especial importancia que reviste la formación de los usuarios para que puedan familiarizarse con los requisitos tecnológicos en este ámbito; llama la atención sobre la creciente tendencia al autodiagnóstico mediante el uso de robots móviles que realizan diagnósticos y que podrían acabar por asumir el papel de los médicos;
18. Señala el gran potencial de la robótica en el ámbito de la rehabilitación de órganos dañados y el restablecimiento de funciones corporales reducidas, aunque es consciente de las complejas cuestiones que ello suscita, en particular por las posibilidades de intervención en el cuerpo humano; pide que se establezcan comités de ética sobre robótica en los hospitales y otras instituciones sanitarias, encargados de examinar y contribuir a resolver problemas éticos inusuales y complejos relacionados con cuestiones que afectan al cuidado y tratamiento de los pacientes; pide a la Comisión y a los Estados miembros que desarrollen directrices para ayudar al establecimiento y funcionamiento de dichos comités;
19. Considera, habida cuenta de los efectos que el desarrollo y la implantación de la robótica y la inteligencia artificial podrían tener en el empleo y, por ende, en la viabilidad de los sistemas de seguridad social de los Estados miembros, que debería examinarse la necesidad de exigir a las empresas que informen acerca de en qué medida y proporción la robótica y la inteligencia artificial contribuyen a sus resultados económicos, a efectos de fiscalidad y del cálculo de las cotizaciones a la seguridad social; opina que, a la luz de la repercusión que la robótica y la inteligencia artificial podrían tener en el mercado de trabajo, debería considerarse seriamente la posibilidad de introducir una renta básica universal, e invita a todos los Estados miembros a que reflexionen sobre ello;
20. Considera que la responsabilidad civil de los robots es una cuestión fundamental que debe abordarse a escala de la Unión con el fin de garantizar el mismo grado de transparencia, coherencia y seguridad jurídica en toda la Unión Europea para beneficio de los consumidores y las empresas;
21. Pide a la Comisión que presente, sobre la base del artículo 114 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, una propuesta de instrumentos legislativos sobre los aspectos jurídicos de la evolución de la robótica y de la inteligencia artificial previsible en los próximos 10 a 15 años, de acuerdo con las recomendaciones detalladas que figuran en el anexo; insta asimismo a la Comisión a que, una vez que el desarrollo tecnológico permita la concepción de robots cuyo grado de autonomía sea más elevado de lo razonablemente previsible en la actualidad, proponga una revisión de la legislación pertinente a su debido tiempo;
22. Considera que, independientemente del instrumento jurídico futuro que se escoja en materia de responsabilidad de los robots en casos distintos a los perjuicios patrimoniales,

- dicho instrumento legislativo no debería en modo alguno limitar el tipo o el alcance de los daños y perjuicios que puedan ser objeto de compensación, ni tampoco limitar la naturaleza de dicha compensación, por el único motivo de que los daños hayan sido causados por un agente no perteneciente a la especie humana;
23. Considera que el futuro instrumento legislativo debe prever, como regla general, la aplicación de la responsabilidad objetiva, lo que únicamente exige probar que se ha producido un daño y el establecimiento de un nexo causal entre el comportamiento perjudicial del robot y los daños causados a la persona perjudicada;
 24. Considera que en principio, una vez que las partes responsables hayan sido identificadas en última instancia, su responsabilidad será proporcional al nivel real de las instrucciones dadas a los robots y a su autonomía, por lo que cuanto mayor sea la capacidad de aprendizaje o la autonomía, menor será la responsabilidad de las otras partes, y cuanto más larga haya sido la «educación» del robot, mayor será la responsabilidad de su «profesor»; observa, en particular, que al tratar de determinar la responsabilidad real de los daños, las competencias adquiridas a través de la «educación» de un robot no deberían confundirse con las competencias estrictamente dependientes de su capacidad de aprender de modo autónomo;
 25. Señala que una posible solución a la complejidad de la asignación de responsabilidad por los daños causados por robots cada vez más autónomos, podría ser el establecimiento de régimen de seguro obligatorio, como ya ocurre, por ejemplo, con los coches; no obstante, observa que, a diferencia del régimen de seguros en materia de circulación por carretera, en los que el seguro cubre tanto las actuaciones humanas como los fallos, un sistema de seguros para robots podría basarse en la obligación del fabricante de suscribir un seguro para los robots autónomos que produce;
 26. Considera que, tal como sucede con el seguro de vehículos de motor, dicho sistema podría completarse con un fondo para garantizar la reparación de daños en los casos de ausencia de una cobertura de seguro; pide al sector asegurador que desarrolle nuevos productos que estén en consonancia con los avances de la robótica;
 27. Pide a la Comisión que, cuando realice una evaluación de impacto de su futuro instrumento legislativo, explore las implicaciones de todas las posibles soluciones jurídicas tales como:
 1. a) establecer un régimen de seguro obligatorio, similar al existente para los automóviles, en el que los fabricantes o los propietarios de robots estarían obligados a suscribir un contrato de seguro por los posibles daños causados por sus robots.
 2. b) establecer un fondo de compensación que no solo garantizaría la reparación del daño causado por un robot ante la ausencia de un seguro, que en cualquier caso seguiría siendo su principal objetivo, sino también la de permitir distintas operaciones financieras en interés del robot, tales como inversiones, donaciones o la remuneración a robots inteligentes autónomos por sus servicios, que podrían transferirse al fondo;
 3. c) establecer un régimen de responsabilidad limitada para el fabricante, el programador, el propietario o el usuario en la medida en que los robots inteligentes autónomos dispondrían de un fondo de compensación (al que todas

las partes podrían contribuir en proporciones variables), y solo podrían invocarse los daños materiales dentro de los límites de dicho fondo, otros tipos de daños no estarían sujetas a tales límites;

4. d) decidir si conviene crear un fondo general para todos los robots autónomos inteligentes o crear un fondo individual para cada categoría de robot, así como la elección entre un canon único al introducir el robot en el mercado o entre pagos periódicos durante la vida del robot;
 5. e) crear un número de inscripción individual que figure en un registro específico de la Unión, que garantice la asociación entre el robot y el fondo del que depende, y que permita que cualquier persona que interactúe con el robot esté al corriente de la naturaleza del fondo, los límites de su responsabilidad en caso de daños materiales, los nombres y las funciones de los participantes y otros datos pertinentes;
 6. f) crear una personalidad jurídica específica para los robots, de modo que al menos los robots autónomos más complejos puedan ser considerados personas electrónicas con derechos y obligaciones específicos, incluida la obligación de reparar los daños que puedan causar; la personalidad electrónica se aplicaría a los supuestos en que los robots puedan tomar decisiones autónomas inteligentes o interactuar con terceros de forma independiente.
28. Pide a la Comisión que presente, sobre la base del artículo 225 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea, una propuesta de Directiva sobre las reglas del Derecho civil en materia de robótica:

PROPUESTAS:

Debe establecerse una definición europea común de robots autónomos «inteligentes», cuando proceda, incluidas las definiciones de sus subcategorías, teniendo en cuenta las siguientes características:

1. La capacidad de adquirir autonomía mediante sensores y/o mediante el intercambio de datos con su entorno (interconectividad) y el análisis de dichos datos;
2. La capacidad de aprender a través de la experiencia y la interacción;
3. La forma del soporte físico del robot;
4. La capacidad de adaptar su comportamiento y acciones al entorno.

A efectos de la trazabilidad y para facilitar la aplicación de nuevas recomendaciones, cabe introducir un sistema de registro de robots avanzados, basado en los criterios establecidos para la clasificación de los robots. Tanto el sistema de registro como el registro deberían establecerse a escala de la Unión, cubrir el mercado interior y ser gestionados por una agencia de la Unión para la robótica y la inteligencia artificial.

Cualquier solución jurídica elegida en materia de responsabilidad de los robots para los supuestos diferentes de los daños materiales no debería en modo alguno limitar el tipo o el alcance de los

daños y perjuicios que puedan ser objeto de compensación, y tampoco debería limitar la naturaleza de dicha compensación, basándose únicamente en que los daños han sido causados por un agente no perteneciente a la especie humana.

El futuro instrumento legislativo debería prever la aplicación de una regla de responsabilidad estricta norma para los daños causados por los «robots inteligentes», exigiendo solo la prueba de una relación de causalidad entre el comportamiento perjudicial del robot y el daño causado a la parte perjudicada.

Sería conveniente establecer un régimen de seguro obligatorio, que podría basarse en la obligación del productor de suscribir un seguro para los robots autónomos por él fabricados.

El sistema de seguro debería complementarse con un fondo para garantizar la compensación de los daños y perjuicios en los supuestos en los que no exista una cobertura de seguro.

Cabría garantizar la interoperabilidad de los robots autónomos conectados a la red autónoma que interactúan entre sí. El acceso al código fuente debería estar disponible cuando fuera necesario para investigar tanto los accidentes como los daños causados por «robots inteligentes».

Sería conveniente establecer criterios aplicables a la «creación intelectual» de obras protegidas por los derechos de autor producidas mediante ordenadores o robots.

Las empresas deberían estar obligadas a comunicar la siguiente información:

- — el número de «robots inteligentes» que utilizan,
- — los ahorros realizados en cotizaciones a la seguridad social gracias a la utilización de la robótica en lugar del personal humano,
- — una evaluación de la cuantía y la proporción de los ingresos de la empresa procedentes de la utilización de la robótica y la inteligencia artificial.
- La propuesta de un código de conducta ética en el campo de la robótica sentará las bases para la identificación, la supervisión y el cumplimiento de los principios éticos fundamentales desde la fase de diseño y desarrollo.

El marco debe concebirse de un modo reflexivo que permita efectuar ajustes individuales caso por caso para evaluar si un determinado comportamiento es adecuado o equivocado en una situación determinada y tomar decisiones conforme a una jerarquía de valores preestablecidos.

El código no debería reemplazar la necesidad de abordar los principales retos jurídicos en este ámbito, sino que ha de tener una función complementaria. Facilitará más bien, la categorización ética de la robótica, reforzará los esfuerzos de innovación responsable en este ámbito y responderá las preocupaciones de los ciudadanos.

Convendría hacer especial hincapié en las fases de investigación y desarrollo de la trayectoria tecnológica pertinente (proceso de concepción, análisis ético, controles de auditoría, etc.). El código de conducta debería tener como objetivo no solo la necesidad de abordar la necesidad de

cumplimiento de determinadas normas éticas por parte de investigadores, profesionales, usuarios y diseñadores, sino también de introducir un procedimiento para la resolución de los dilemas éticos y permitir que estos sistemas puedan funcionar de una manera éticamente responsable.

El texto sugiere asimismo a la Comisión la creación de una agencia europea de robótica e inteligencia artificial para ofrecer información especializada y asesoramiento técnico y ético a las autoridades.

La resolución fue aprobada con 396 votos a favor, 123 en contra y 85 abstenciones.

Me gustaría finalizar recordando unas palabras de Richard Feynman, premio nobel de física en el año 1965, propulsor de la dinámica cuántica y creador de la nanotecnología, que decía, "lo que no puedo crear, no lo entiendo" que unido a una de mis frases favoritas de, "la imaginación es el principio de la creación", quiero que sirva, desde aquí y para todos, como mensaje de que es necesaria y fundamental la investigación y el trabajo en equipos multidisciplinares para conseguir que esos sueños de la imaginación del hombre algún día puedan ser realidades.

BIBLIOGRAFIA

1. Beasley R. Medical Robots: Current Systems and Research Directions. Journal of Robotics. 2012.
2. Bishop CM. Pattern recognition and machine learning. New York: Springer; 2006.
3. Bogunia-Kubik K, Sugisaka M. From molecular biology to nanotechnology and nanomedicine. BioSystems.2002;65:123.
4. Brenner SE, Levitt M. Expectations from structural genomics. Protein Science. 2000; 9 (1): 197–200.
5. Cabo Salvador J, Belmont Lerma MA, Cabo Muiños J, Herreros Gonzalez J. Estructura Organizativa, Financiación, Gasto, Provisión de Servicios y Desarrollo de los Sistemas Sanitarios en los Países de la Comunidad Económica Europea. En: Gestión Sanitaria Integral: Pública y Privada. Editor: Javier Cabo Salvador. Editorial Centro de Estudios Financieros. Año 2010. PP. 85- 133
6. Cabo Salvador J, Belmont Lerma MA 2014. Sistemas Sanitarios y Reformas Sanitarias. Enfoque hacia la calidad. En: Cabo Salvador J, editor. Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias. Ediciones Diaz de Santos. 1 ed. Madrid; 2014. PP. 1-48.
7. Cabo Salvador J, Belmont Lerma MA, Cabo Muiños J, Cabo Muiños V. Ajustes de riesgos y calidad asistencial. Agrupadores (APG, GRD, AP-GRD, IR-GRD, ACG, DxCG, CRG). En: Cabo Salvador J, editor. Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias. Ediciones Díaz de Santos. 1 ed. Madrid; 2014. p. 1157-1210
8. Cruz JA, Wishart DS. Applications of machine learning in cancer prediction and prognosis. Cancer Informat 2006; 2:59.
9. de Castro Lozano, C, Cabo Salvador J, Ramírez JM, García E. SIESTACARE: Inteligencia Ambiental aplicada a sistemas e-salud como tecnología de ayuda a enfermos y personas

- en situaciones de dependencia. En: Cabo Salvador J, editor. *Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias*. Ediciones Díaz de Santos. 1 ed. Madrid; 2014. p.p.953- 1008.
10. Frankham R. Challenges and opportunities of genetic approaches to biological conservation. *Biological Conservation*. 2010, 143 (9): 1922–1923.
 11. Jessica Burgner-Kahrs, D. Caleb Rucker, and Howie Choset, *Continuum Robots for Medical Applications: A Survey*, *IEEE Transactions On Robotics*, 2015; vol. 31, no. 6, pp. 1261–1280.
 12. Kourou K, Exarchos TP, Exarchos KP, Karamouzis MV, Fotiadis D. Machine learning applications in cancer prognosis and prediction *Computational and Structural Biotechnology Journal* 2015; 13: 8–17
 13. Kononenko I. Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artif Intell Med* 2001; 23: 89–109.
 14. Kubik T, Bogunia-Kibik K, Sugisaka M. Nanotechnology on duty in medical applications. *Curr Pharm Biotechnol*.2005; 6:17.
 15. Lesk AM. *Introduction to Genomics* (3rd ed.). New York: Oxford University Press. 2017 p. 544.
 16. Lopez Coronado M, de la Torre I, Herreros González J, Cabo Salvador J. Mejora de la Calidad Asistencial mediante la Telemedicina y la Teleasistencia. En: Cabo Salvador J, editor. *Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias*. Ediciones Díaz de Santos. 1 ed. Madrid; 2014. p.p. 933- 952.
 17. Mathias Hoeckelmann, Imre J. Rudas, Paolo Fiorini, Frank Kirchner, and Tamas Haidegger, *Current Capabilities and Development Potential in Surgical Robotics*, *International Journal Of Advanced Robotic Systems*, 2015 vol. 12.
 18. Michael A. Goodrich, Jacob W. Crandall, and Emilia Barakova, *Teleoperation and Beyond for Assistive Humanoid Robots*, *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 2013; vol. 9, no. 1, pp. 175–226,
 19. Mitchell TM. *The discipline of machine learning*: Carnegie Mellon University. Carnegie Mellon University, School of Computer Science, Machine Learning Department; 2006.
 20. Moghimi SM, Hunter AC, Murray JC. Nanomedicine: current status and future prospects. *FASEB J*. 2005; 19:311.
 21. Morteza Daneshmand, Ozan Bilici, Anastasia Bolotnikova, and Gholamreza Anbarjafari, *Medical robots with potential applications in participatory and opportunistic remote sensing: A review*, *Robotics and Autonomous Systems*, 2017
 22. Niknejad A, Petrovic D. Introduction to computational intelligence techniques and areas of their applications in medicine. *Med Appl Artif Intell* 2013;51.
 23. Pang-Ning T, Steinbach M, Kumar V. *Introduction to data mining*; 2006.
 24. Ramos López J, Soguero Ruiz C, Mora Jiménez I, Rojo Alvarez JL, Cabo Salvador J. M-Health y su impacto en la calidad asistencial. En: Cabo Salvador J, editor. *Gestión de la Calidad en las Organizaciones Sanitarias*. Ediciones Díaz de Santos. 1 ed. Madrid; 2014. p.p.1009- 1052.
 25. Schweikard, A, Floris E. *Medical Robotics*. Springer Science Business Media. 2015
 26. Torbjørn Dahl, and Maged Boulos, *Robots in Health and Social Care: A Complementary Technology to Home Care and Telehealthcare*, *Robotics*, 2013; vol. 3, no. 1, pp. 1–21.

27. Vasir JK, Reddy MK, Labhasetwar V. Nanosystems in drug targeting: opportunities and challenges. *Current Nanoscience*.2005;1:45.
28. Witten IH, Frank E. *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann; 2005.
29. Yue Ai, Bo Pan, Yili Fu, and Shuguo Wang, Control system design for a novel minimally invasive surgical robot, *Computer Assisted Surgery*, 2016; vol. 21, no. sup1, pp. 45–53.