



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Puntos de atención. Internet de las cosas. Salud móvil: perspectivas farmacéuticas**Points of care. Internet of things. Mobile health: pharmaceutical perspectives**

Agustín García Asuero FRSC

Profesor Emérito por la Universidad de Sevilla
Académico de Número de la Real Academia Nacional de Farmacia

e-mail: asuero@us.es

Recibido el 13 de enero de 2026; aceptado el 21 de enero de 2026
Disponible en internet el 31 de marzo de 2026**PALABRAS CLAVE**Puntos de atención
Teléfonos inteligentes
Internet de las cosas
Internet de las cosas médicas.
Salud móvil
Sensores implantables**RESUMEN**

En esta contribución se incide en la importancia de la digitalización en el ámbito de la salud y se pasa sucesivamente revista a los dispositivos de Puntos de Atención (POC), los teléfonos inteligentes, la Internet de las Cosas (IoT) e Internet de las Cosas Médicas-Salud Móvil, robots, biosensores, Internet de las Cosas y Computación en la Nube y sensores implantables (corporales) y teléfonos celulares. Es fundamental “aunar los esfuerzos en las diversas disciplinas que hacen frontera con estas materias para avanzar en el desarrollo de herramientas integradoras para la prevención, diagnóstico, monitorización y tratamiento de la enfermedad” (Asuero, Memoria de la Real Academia Sevillana de Ciencias, 2024).

KEYWORDSPoint-of-care
Smartphones
Internet of Things
Medical Internet of Things
Mobile Health.
Wearable sensors**ABSTRACT**

This contribution emphasizes the importance of digitalization in the healthcare field and successively reviews Point-of-Care (POC) devices, smartphones, the Internet of Things (IoT) and the Internet of Medical Things-Mobile Health, robots, biosensors, the Internet of Things and Cloud Computing, and wearable sensors and cell phones. It is essential to “combine efforts across the various disciplines that border these fields to advance the development of integrative tools for the prevention, diagnosis, monitoring, and treatment of disease” (Asuero, Reports of the Royal Seville Academy of Sciences, 2024)..

DOI: <https://doi.org/10.53519/analesranf>.

ISSN: 1697-4271 E-ISSN: 1697-428X/Derechos Reservados © 2026 Real Academia Nacional de Farmacia.

Este es un artículo de acceso abierto



1. INTRODUCCIÓN

La digitalización se ha convertido en una parte integral de la vida humana moderna, impactando cada aspecto de nuestras actividades diarias (1). A medida que avanzamos en el siglo XXI, dependemos cada vez más de las tecnologías digitales para la comunicación, el trabajo, la atención médica, la educación e incluso el entretenimiento. Esta era digital ha conformado un entorno en el que la tecnología no es solo una herramienta (2), sino un componente fundamental de nuestra sociedad, que facilita niveles sin precedentes de conveniencia, eficiencia y conectividad global. La evaluación de los sistemas de salud a lo largo de la historia va (3) desde el papiro Ebers en el antiguo Egipto a los templos de curación griegos, la aparición de los modernos hospitales y de los hospitales de dimensiones colosales, y a la futura atención médica y farmacéutica conectada centrada en el paciente, en cualquier persona, en cualquier momento y en cualquier lugar (anyone, anytime, anywhere). Como principales tecnologías de digitalización en medicina/farmacía (4) pueden citarse: Internet de las cosas, inteligencia artificial, teléfonos inteligentes, simulación y modelado, análisis de datos masivos, realidad aumentada y manufactura digital. Esta contribución está basada en parte en el libro *“Química y medida: de los orígenes a la miniaturización y a la nanoanalítica”* (5), del que soy autor, y en las conferencias impartidas en la Real Academia Sevillana de Ciencias (Sevilla, marzo 2024), Academia de Ciencias Farmacéuticas del Paraguay (Asunción, agosto 2024), Academia de Ciencias Farmacéuticas de Portugal (Porto, diciembre 2024) y III Encuentro Internacional de Academias de Farmacia (virtual, septiembre 2025, Conferencia de Clausura), organizado por la Academia Nacional de Ciencias Farmacéuticas de México, con las consiguientes mejoras introducidas en todos los casos. Un 30 % de las referencias citadas corresponden al año en curso, 2025.

2. DISPOSITIVOS DE PUNTOS DE ATENCIÓN (POC)

Los métodos convencionales de detección (6), e.g. de diagnóstico molecular o de análisis de imagen, se llevan a cabo en laboratorios clínicos bien equipados con la ayuda de equipos sofisticados, y personal bien entrenado y capacitado. Procedimientos preanalíticos pueden influir sobre los resultados de las pruebas y retrasar los tiempos de respuesta. Esto perjudica notablemente el control de enfermedades infecciosas en áreas con recursos limitados, por lo que se han destinado importantes fondos a la puesta a punto (7) de métodos de diagnóstico rápidos y portátiles que eviten el transporte de muestras, y que permitan realizar pruebas inmediatas en muestras como saliva o hisopos nasales anteriores, aliento, sudor, orina, o lágrimas, que no requieren personal cualificado para su toma. A lo largo de los años, la evolución de las pruebas en el punto de atención (POCT) se ha visto impulsada por los avances tecnológicos en materiales, diseño e inteligencia artificial, así como por los avances en tecnologías portátiles (8). Estas innovaciones están trasladando el diagnóstico de las instalaciones médicas centralizadas (e.g. hospitales) a los hogares, generando así un aumento en la demanda de dispositivos “wearables” (ponibles o implantables) para la monitorización de la salud, con el objetivo de dar respuesta a la creciente demanda de atención médica personalizada. Las tecnologías de punto de atención ofrecen ventajas como la facilidad de uso, la alta precisión diagnóstica, la rápida evaluación clínica y la rentabilidad de la fabricación y de los materiales consumibles.

Al proporcionar resultados rápidos los dispositivos de puntos de atención facilitan (9) la gestión de brotes en el nivel de atención primaria (clínicas ambulatorias), urgencia (hospitalaria), centros de atención a personas mayores, salas de emergencia, aduanas, hogar u otros entornos, así como los cuidados de autocontrol de los ciudadanos. Las pruebas de



laboratorio más elaboradas pueden usarse de manera controlada para confirmar los resultados de la detección y suministrar una información más completa cuando sea menester. Las pruebas de POC se emplean también en áreas diversas, e.g. bioseguridad, medio ambiente o seguridad alimentaria. El diagnóstico juega un papel trascendental en el entorno sanitario y su fiabilidad y precisión influyen de una manera marcada (10) la toma de decisiones clínica a implementar, el tratamiento a desarrollar y el porcentaje de supervivencia del paciente: “Without diagnosis medicine is blind”, frase debida a Alain Mérieux (1938-), presidente del Instituto Mérieux, un conglomerado de medicina y salud pública especializado en diagnóstico, inmunoterapia y nutrición. El diagnóstico precoz es fundamental para lograr el tratamiento eficaz de una enfermedad (11) siendo en numerosas ocasiones una cuestión de vida o muerte tratándose de las enfermedades más nocivas, contribuyendo asimismo al control y posible prevención de una pandemia emergente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) precisó en 2003 los criterios fundamentales de los ensayos POC aglutinados en el acrónimo ASSURED: asequibilidad, sensibilidad, especificidad, facilidad de uso, robustez y rapidez, no requerimiento de equipo de medida y resultados trasladables a los usuarios (12-14). Estas propiedades proporcionan una base para considerar si el diagnóstico cumple con la condición “de entornos con recursos restringidos”. No obstante, resulta difícil satisfacer todos los enumerados de manera simultánea. Se han adicionado otros dos, R (real time connectivity; conectividad en tiempo real) y E (easy of specimen collection and environmental friendliness; facilidad de recolección de muestra y respeto al medio ambiente) dando lugar al nuevo acrónimo REASSURED (14). Existe una preocupación manifiesta dada la elevada cantidad de plásticos no reciclables que se utilizan en la fabricación de las carcassas de las pruebas rápidas, de ahí la incorporación de este último requerimiento.

El dispositivo de prueba ideal debe ser lo más simple y menos costoso posible, y al mismo tiempo lo suficientemente preciso y fiable. El dispositivo médico de punto de atención de mayor recorrido y significado a nivel mundial se puso a punto en la década de 1970: el monitoreo de glucosa en sangre para los pacientes con diabetes (15), que utiliza una tira de prueba desechable. Los éxitos conseguidos en las últimas dos décadas en el ámbito de las pruebas de atención de enfermedades infecciosas han sido loables, aunque resta llevar a cabo validaciones estrictas para lograr la transferencia de estas técnicas de investigación de los ensayos de laboratorio a la práctica clínica cotidiana (16). Temas que se relacionan con el control de las infecciones, ensayos en ambientes confinados, conectividad de la tecnología de la información y la optimización de la vía clínica son claves para asumir los retos que suponen garantizar su puesta a punto. Los sistemas POC venideros podrán incorporar en un solo chip detección multiplexada con alto rendimiento de variadas biomoléculas, afrontando el diagnóstico simultáneo de diferentes enfermedades partiendo de señales de lectura dignas de confianza y diferenciadas con facilidad (17). Esto hará posible que los sensores POC sean auténticamente efectivos en lo que respecta al tiempo de respuesta, rentabilidad económica, y fácil despliegue en zonas de recursos limitados.

La industria farmacéutica ha incorporado la miniaturización, la integración y la automatización en muchos de sus sectores de investigación y desarrollo; estando la mayor parte de sus departamentos de investigación al tanto de las tecnologías microfluídicas y a escala nano, circunstancia que se refleja en sus planes estratégicos. Las plataformas microfluídicas (18), a la que tanto ha contribuido el Profesor Andreas Manz (1956-), constituyen una alternativa interesante a tener en cuenta, dados los bajos costos relativos, los menores requerimientos de mantenimiento y espacio y los pequeños volúmenes de muestra neces-



rios en los ensayos a realizar. El que los dispositivos de punto de atención sea un tema candente se aprecia en los Simposios sobre la materia, e.g. Rotterdam (Países Bajos), junio 2024, Zurich (Suiza), octubre 2024, Bangkok (Tailandia), junio de 2025.

3. LOS TELÉFONOS INTELIGENTES (SMART-PHONES)

Los teléfonos inteligentes (19) irrumpen en escena a finales de los 90, transformándose estos “teléfonos con funciones” en computadoras portátiles. Tras la aparición del “iPhone” de “Apple” en 2007, los teléfonos se popularizan. Más de un tercio de la población mundial dispone de uno de ellos, que se manufacturan en gran medida en China y Corea. Con el surgimiento de técnicas de detección basadas en los teléfonos inteligentes pueden llegar a realizarse diagnósticos certeros de POC con capacidades de análisis multiplexora, cuantificación y detección con alta sensibilidad y selectividad (20). Los teléfonos inteligentes, que suministran imágenes, filtrado y procesamiento de imágenes/datos, se constituyen en poderosos artefactos que contribuyen a potenciar la capacidad de las plataformas de diagnóstico POC actuales (21). Dado que multitud de personas lo portan consigo, pueden facilitar eficazmente lecturas “in situ” verificando de forma rápida y precisa el grado de infección, facilitando así significativamente el control y la vigilancia de las enfermedades.

La introducción de la inteligencia artificial (IA) se traducirá en una mejora del diagnóstico (22). Un sensor facultado para IoTM (Internet de las Cosas Médicas) posibilita en potencia el envío de datos médicos relevantes a servidores en la nube 5G destinados al almacenaje y análisis de datos masivos (big data) lo que permite una mejor comprensión de la enfermedad y el establecimiento del diagnóstico consiguiente. El incremento de la velocidad y de la facilidad de comunicación de los teléfonos inteligentes se explota (23) en el control de la propagación de enfermedades, dado que

poseen la conectividad, la potencia computacional y el hardware necesario para facilitar la presentación de informes electrónicos, la creación de base de datos epidemiológicos y las pruebas en el punto de atención, contribuyendo al desarrollo de la plataforma IoMT (Internet of Medical Things), Internet de las Cosas Médicas - Salud Móvil. Cuando se combinan con pruebas de diagnóstico preexistentes suministran información geoespacial (GPS) en tiempo real que posibilita a las agencias de salud gubernamentales (nacionales y mundiales) poner a punto estrategias de control coordinadas frente a posibles brotes epidémicos. El uso de teléfonos inteligentes permite la digitalización del rastreo de los contactos proporcionando registros más completos y compartibles. Se dispone de una posibilidad adicional al uso de la telefonía celular acudiendo al desarrollo de relojes, anteojos o gafas inteligentes o dispositivos portátiles dérmicos con sensores integrados o conectables (24).

4. LA INTERNET DE LAS COSAS - INTERNET DE LAS COSAS MÉDICAS - SALUD MÓVIL

La Internet de las Cosas (IoT) es una colección de dispositivos, seres humanos, objetos y servicios interconectados (25) que comparten datos para lograr un objetivo común en diferentes áreas y aplicaciones. Su uso se manifiesta en variados dominios tales como la atención médica, agricultura, transporte y distribución y producción de energía (26). La integración de tecnologías con dispositivos móviles (teléfonos inteligentes) ofrece interesantes oportunidades en diferentes áreas. En el campo del diagnóstico médico en concreto, supone un cambio de paradigma que posibilita el suministro de atención médica móvil y medicina centrada en la persona.

El término IoT, que forma parte del diccionario de Oxford desde 2013, se introduce en 1999 por Kevin Ashton (1968-), británico, formado en el “University College” de Londres, cofundador del Centro de Identificación Auto-



mática (Auto ID) del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) y creador del sistema estándar de identificación por radiofrecuencia (RFID). Desde la invención del primer dispositivo conectado a la Web en 1990, IoT precisa una gran atención dado el incremento exponencial de los ordenadores y la tecnología de Internet desde mediados de los noventa. Los enormes avances de la electrónica y la democratización de las comunicaciones y dispositivos asimilados (disminución de tamaño, consumo y precio) han hecho posible este milagro.

El concepto es parecido al de “Cloud Computing”; las capacidades de comunicación se emplean para brindar servicios situados en un conjunto de servidores (nube) a los clientes conectados (27-28). Los usuarios utilizan un elevado conjunto de dispositivos informáticos (computadoras personales, teléfonos inteligentes, periféricos portátiles, aplicaciones de hogares inteligentes, etc.) en numerosos sitios diferentes. Esto implica la necesidad de establecer un acceso “único” a la información, esté donde esté, con independencia del ordenador utilizado. Esto obliga al establecimiento de un emplazamiento común para el almacenaje de la información, lo que conduce en primera instancia al concepto de “nube” y posteriormente al de “Cloud Computing”.

Tanto AI como IoT/IoMT (Internet de las Cosas/ Internet de las Cosas Médicas) se combinan (29) con diversos sensores médicos inteligentes (de pulso, térmicos y sanguíneos). Esto permite el acceso a sistemas de detección y plataformas de diagnóstico “en línea” en tiempo real, de forma remota, específicas y sensibles, cada vez más rápidas y económicas. Se asiste así a la administración de las valiosas bases de datos subidos a la nube, a su intercambio y al análisis en red.

Vamos circulando en la dirección apropiada hacia el paradigma revolucionario de la medicina de precisión (30). La red de sensores inalámbricos (WSN) permite la comunicación entre los dispositivos. La identificación por radiofrecuencia (RDF) su etiquetado. Ambas

cosas permiten un desarrollo rápido en la industria de la IoT. El protocolo de comunicación adecuado se elige (31) en función de factores como la distancia, el rendimiento y el consumo de energía. Los avances en la Industria 4.0 incluido el IoT, las redes móviles, la computación en la nube y la IA facilitan (32) el que los pacientes estén conectados con los profesionales de la salud. Todo esto se aplica a la prevención del contagio, la mejora en el diagnóstico, la promoción de entornos virtuales de aprendizaje y la oferta de servicios a distancia. Se plantean de esta manera diversos problemas éticos, técnicos, de seguridad y legales. De mayor a menor el volumen de negocio por sector va en la dirección: Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, Robots, Impresión 3-D, Realidad Aumentada (AR), Realidad Virtual (VR) y Cadena de Bloques.

La realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) se encuentran entre las contribuciones innovadoras (33) en la exploración de las condiciones médicas y la mejora del diagnóstico visual. Este concepto de tecnología inmersiva es propuesto por primera vez en la década de 1960, época en la que Ivan Sutherland (1938-), norteamericano, padre de la computación gráfica, crea los primeros auriculares. En 1975, el también estadounidense Myron Krueger (1942-), científico de la computación reconvertido en artista informático, diseña un “Videoplace”, combinación de cámaras de video y proyectores con el propósito de acceder al mundo de realidad virtual. Es posible utilizar la inteligencia artificial y la visión por computadora con objeto de perseguir la mejora de la experiencia de los proveedores de atención médica, ofreciendo en adición entornos personalizados para la enseñanza clínica.

En el proceso de estandarización de la tecnología 5G se examinan tres áreas (34): comunicaciones masivas tipo máquina, banda ancha móvil mejorada, y comunicaciones ultra confiables y de baja latencia. A pesar de sus beneficios adicionales, las redes 5G todavía tienen limitaciones significativas en las capa-



ciudades de tráfico móvil, la densidad de dispositivos y la latencia requerida para la atención médica y otras aplicaciones en general. Se prevé que las futuras redes de IoT habilitadas para 6G sirvan para aplicaciones de atención médica inteligentes con latencia ultra-baja, alto rendimiento, confiabilidad ultra-elevada, alta densidad y eficiencia energética. La atención médica inteligente del futuro incluirá una combinación de 6G e Internet de las cosas (IoT) que abordará las limitaciones actuales relacionadas con la cobertura celular, el rendimiento de la red y los problemas de seguridad.

La comunicación holográfica (35) será una de las aplicaciones más útiles para el alto rendimiento de 6G, al igual que la realidad virtual y aumentada (AR/VR) lo es para 5G. Las aplicaciones de atención médica que utilizan 6G mejorarán las experiencias de realidad virtual y aumentada al comunicar información sensorial adicional de diversas fuentes, como audio, visual, somatosensorial y háptica, proporcionando interacción en tiempo real y presentando con precisión imágenes tridimensionales (3D) de objetos virtuales y reales. Esto permitirá a los médicos examinar de forma remota áreas específicas del cuerpo, lo que proporcionará una mejor visibilidad y será útil en caso de procedimientos o cirugías complejas de alto riesgo.

5. ROBOTS

El escritor checo Karel Capek (1890-1938) acuñó el término de robot (36), clásico de la ciencia ficción en la literatura y en el cine en las primeras décadas de siglo XX, para describir las máquinas trabajadoras o serviles. Los robots asumen en la ficción papeles variados, desde fiel escudero (mítico C3PO de “Star Wars”) a robot cirujanos y aniquiladores de la humanidad. La palabra “androide”, entidad mecánica con apariencia antropomórfica, fue empleada en 1270 por San Alberto Magno (1193/1206-1280) y popularizada por el escritor francés Auguste Villiers de L’Isle-Adam

(1838-1889) en la novela “La Eva Futura (1886)”. Un término más sutil es el de “sistemas ciberfísicos” (CPS) (37) :“sistemas robóticos inteligentes, vinculado con el Internet de las Cosas, o sistemas técnicos de computadoras en red, robots e inteligencia artificial que interactúan con el mundo físico”, ya sea a través de sensores o con personas. Los robots se han utilizado en la industria desde la década de 1960 en las líneas de montaje de la General Motors, e.g. el primero de ellos, el “Unimate”.

Coincidente con la pandemia de la COVID-19 se ha producido un notable incremento en el número de las publicaciones sobre el uso de robots en la atención sanitaria, y se ha planteado la necesidad de que los robots desempeñen funciones en entornos hostiles y desfavorables. Su potencial en la administración de medicamentos, la vigilancia, el cribado de pacientes y la desinfección es obvio. Las necesidades de atención sanitaria evolucionan constantemente, y los robots contribuyen a aclimatarse a estos cambios (38). Como resultado, los robots médicos ya no constituyen una opción, sino un elemento sustancial de la calidad de la atención médica. Las tecnologías usuales contemplan la teleoperación, el uso de robots de servicio autónomos, de reconocimiento facial, de escaneo térmico y otros sistemas adicionales que tienen como objeto reducir, controlar o diagnosticar la presencia de virus (39). Los drones son también utilizados en la detección y el monitoreo en sectores claves como los de locomoción, atención médica, desinfección y logística. La eficacia de los robots en el tratamiento y diagnóstico de las infecciones se ve incrementada con la incorporación simultánea de algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial.

El término telemedicina (40) fue introducido en 1970 por Thomas Bird, del latín “medicus” y griego “tele” con el significado de curar a distancia, siendo aplicada desde el Hospital General de Massachussets de Boston a los empleados del aeropuerto de Logan. Willem



Einthoven (1860-1927) médico y fisiólogo neerlandés, Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1924, describió en 1906 el primer electrocardiograma en su laboratorio de Leiden. La utilización de la telemedicina constituye una forma segura de acceder y brindar servicios de atención médica tanto a los pacientes como a los médicos y otros profesionales del entorno de la salud. El avance de los sensores portátiles de telemedicina delinea los tres niveles interconectados (41) para el monitoreo inteligente de la atención médica. El Nivel 1 genera pequeños sensores inalámbricos inteligentes para recopilar señales físicas de los pacientes y transmitir esta información al Nivel 2 a través de redes inalámbricas de área corporal (WBAN), y los datos de monitoreo se transfieren a través de una puerta de enlace personal (por ejemplo, teléfonos inteligentes, computadoras) mediante (31) protocolos de red (e.g. Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi). Se asiste a un desarrollo prometedor y óptimo de nuevos materiales activos para detectar mecanismos humanos profundos beneficiosos para los avances de la telemedicina. Los dispositivos médicos accesibles de forma remota desempeñan un papel integral en la prestación de estos servicios. Los avances tecnológicos de estos dispositivos de telemedicina se han aplicado a la cirugía, el diagnóstico, el seguimiento de la enfermedad y la consulta médica.

La innovación tecnológica está desempeñando un papel destacado en el “nuevo enfoque” de Salud 4.0 ofreciendo soluciones sugerentes (42) para las respuestas hospitalarias frente a futuros brotes epidémicos o pandémicos. El cambio en la atención sanitaria impulsado por Salud 4.0 se basa, como hemos indicado, en la integración del Internet de las Cosas, la Computación en la Nube y en la Niebla y el Big Data. ODIN (43) (Operator Display Integrated Network) uno de los mayores proyectos pioneros de Horizonte 2020 -Unión Europea- en el campo de la robótica aplicada a la atención sanitaria tiene por objeto la me-

jora de la seguridad, productividad y calidad de los hospitales incorporando las tecnologías basadas en inteligencia artificial. Es importante acoplar las tecnologías avanzadas de IA y de 5G con objeto de mejorar la flexibilidad y funcionalidad de los robots y cotejar consideraciones de coste y producción para facilitar el acceso a las soluciones robóticas (44).

6. BIOSENSORES

Un dispositivo biosensor incluye un elemento de reconocimiento biomolecular que le confiere selectividad y un elemento de transducción de señales que posibilita llevar a cabo el análisis cuantitativo o semicuantitativo (45). La interacción entre las moléculas de analito y el elemento de biorreconocimiento en un receptor genérico tiene como consecuencia la transducción de un cambio físico-químico medible, como flujo de corriente, transferencia de calor, cambio de masa o índice de refracción, o propiedades mensurables más sofisticadas. Las señales capturadas (46) se amplifican y se procede a continuación con el análisis de datos de la forma pertinente. Entre las ventajas de los biosensores se tiene la relación coste/beneficio, el tamaño reducido de muestra, y la buena reproducibilidad, así como una detección rápida y una alta sensibilidad. Los biosensores más comunes son los electroquímicos, los basados en transistor de efecto de campo, en resonancia de plasmón de superficie localizada, o en dispersión Raman y mejora de superficie. Los biosensores electroquímicos (47) se han empleado con profusión con objeto de detectar ARN viral, proteínas, anticuerpos moleculares pequeños y partículas virales completas. La diana se puede reconocer usando una reacción antígeno-anticuerpo (48), hibridación de ARN, ADN o ácidos nucleicos peptídicos o aptámeros que se unen a la diana con alta afinidad y especificidad. La interacción biológica de estos procesos conduce a señales eléctricas, y a la medida posterior de propiedades electroquí-



micas como capacitancia, acumulación de carga, conductancia, corriente, impedancia o cambios de potencial (49).

7. IoT Y “CLOUD COMPUTING”

Los enfoques de “IoT” y “Cloud Computing” (50) son complementarios; “IoT” hace referencia a dispositivos de bajo costo (y por lo tanto de recursos limitados) que interactúan con el mundo real, mientras que “Cloud Computing” trata con sistemas altamente escalables, que suministran servicios a nivel virtual. Ambos son especialmente adecuados cuando se utilizan sensores químicos y dispositivos relacionados con el monitoreo continuo en línea de parámetros clínicos, geoquímicos, medioambientales, etc. La Química Analítica (51) debe explotar adecuadamente los beneficios que se derivan de dichas tecnologías dadas sus características singulares, en especial en lo que se refiere a la distribución temporal y la espacial de los parámetros medidos. Al estar todo conectado a Internet (los laboratorios y entre ellos también), cada vez la información disponible es mayor haciendo indispensable el desarrollo de nuevas tecnologías, como las técnicas de la Ciencia de Datos (Data Science), capaces de extraer información adecuada de una gran cantidad de datos, los llamados Datos Masivos (Big Data) (52). Estos deben ser utilizados de tal manera que generen entornos inteligentes adaptados a nuestras necesidades, preferencias e intereses, con el propósito de la mejora en la calidad de vida. Esto conlleva el desarrollo de nuevos instrumentos de análisis químicos destinados a su integración en los ecosistemas de IoT y alojamiento en la nube, para lo que hay que equipar a los laboratorios con la infraestructura de comunicaciones requerida. Los fabricantes de dispositivos de detección podrán conocer en tiempo real el funcionamiento de sus productos, conduciendo esto al desarrollo y puesta a punto de mejores sensores y trans-

ductores. La información al estar a la mano de manera inmediata permitirá de esta forma (53) la adecuación del sensor al entorno y la implementación de dispositivos en condiciones de trabajo extremas.

La integración en la nube permite el paso del antiguo modelo de redes inalámbricas de sensores, en el que un conjunto de nodos predeterminados monitorizaba un parámetro de forma continua, hacia nuevas redes colaborativas (53) de sensorialidad, e.g. las llamadas Redes de Sensores Inalámbricos y/o Redes de Sensores Inalámbricos y Actuadores (WSN wireless sensors networks y WSAAN - Wireless sensors and actuator networks).

La implementación de dispositivos de cada vez menor tamaño y su acoplamiento con objetos inteligentes amplían las posibilidades de uso, aumentando su fiabilidad y duración. La simbiosis futura entre la Química Analítica y las Tecnologías de la Información (TIC) brindan excelentes posibilidades enmarcadas en el ecosistema de IoT y Nube. En un futuro próximo tendremos la necesidad de confiar no solo en sensores analíticos localizados, sino también en técnicas de laboratorio aún más complejas conectadas a la IoT a través (53) de los mecanismos adecuados.

El apogeo de las modernas tecnologías acomete la resolución de serios retos (54) entre los que se destacan: a) la privacidad (no se puede acceder libremente a todos los datos); b) la seguridad (el acceso o uso indebido, o mal funcionamiento puede causar daños); y c) integridad (los datos pueden ser incorrectos o manipulados), etc. Los sensores portátiles (corporales), monitores y pruebas de diagnóstico en el lugar de atención (POC) forman ya parte de nuestra vida diaria (55) llevando a cabo el seguimiento de los pacientes (contribuyendo a la mejora de su restablecimiento médico) o de los atletas (desde el conteo de pasos y la monitorización del pulso hasta el control del electrocardiograma...), mucho más allá de toda posible imaginación.



8. SENSORES CORPORALES Y TELÉFONOS CELULARES

Entre los diferentes tipos de sensores portátiles (implantables) podemos citar los parches sensor, las lentes de contacto microfluídica, los sensores de pulsera, de protección bucal, de parche ocular, de tatuaje de hidrogel, de parche portátil, etc. (56) Con la aparición de dispositivos móviles y digitales médicos, los sensores portátiles (57) reciben en estos últimos años una especial atención en las aplicaciones que se relacionan con la monitorización de las condiciones y el entorno del usuario. La introducción en estos últimos años de sensores químicos no invasivos (58-59), que proporcionan en tiempo real de forma constante la monitorización de marcadores químicos, engloba un espacio significativo en la tecnología de sensores portátiles, indispensable para una gran cantidad de aplicaciones. Esto supone un punto de inflexión en el alejamiento del laboratorio clásico enfocado en sistemas analíticos basados en pruebas analíticas “in vitro” de sangre u orina en tubos de ensayo. Tan considerable revolución permite disponer de una variedad de sensores químicos portátiles (60) que posibilitan el monitoreo continuo no invasivo de muchos analitos importantes en fluidos biológicos, como sudor, saliva, lágrimas y fluido intersticial, en lugar de sangre. Los sensores químicos portátiles constituyen un componente crucial en la química analítica descentralizada. Los sensores de aliento (61) representan una frontera en el diagnóstico no invasivo, aprovechando la detección de compuestos orgánicos volátiles (VOC) en el aliento exhalado, para la monitorización de la salud en tiempo real.

La evolución de la tecnología ha modificado muchos aspectos de nuestra vida. IoT / IoMT se utiliza en la detección de las infecciones a través de puntos de atención incluyéndose la integración en cadena de bloques (blockchain) y la tecnología celular 5G de elevado ancho de banda (62-63). Una gran parte de la población mundial, en torno al 70%, utiliza dispositivos

móviles, cifrándose en un 65% el uso de los teléfonos inteligentes, estando activas además en las plataformas de redes sociales del orden de 4 mil millones de seres humanos. En lo que respecta a la nanotecnología, su integración con sensores portátiles y teléfonos inteligentes supone un desafío, que contribuye a favorecer el diagnóstico con el auxilio de biosensores inteligentes (64). La comparación de los métodos aplicables en términos de sensibilidad, reproducibilidad, y fiabilidad requiere que se lleven a cabo un mayor número de estudios. Esto es, la validación fidedigna de las propiedades analíticas de los métodos ideados resulta trascendental cuando se pone en juego la salud humana.

Los dispositivos portátiles (biosensores, rastreadores de actividad, pulseras, cascos y relojes inteligentes), requieren fuentes de energía adecuadas (biomecánica, bioquímica, solar) y contribuyen en gran medida a la revolución que se aprecia en la asistencia sanitaria personalizada y la telemedicina (65). El acceso a sensores portátiles emergentes poco costosos (tatuajes epidérmicos, lentes de contacto, textiles, mascarillas, muñequeras y parches) extiende y mejora el ámbito de actuación, al disponerse de muestras físicas y señales bioquímicas antes inasequibles (66-67). Los sistemas electrónicos implantados, autoalimentados e integrados en el cuerpo, hacen posible, además, un seguimiento preciso (68) y a largo plazo de señales lógicas de la piel y órganos internos. Sensores de presión flexibles ultrasensibles (69) muestran un considerable potencial en aplicaciones de salud inteligente, interfases humano-máquina e Internet de las Cosas.

Disponer de una batería de dispositivos portátiles (70), uno para cada función o flujo de datos, haría que el individuo pareciera un cibernético con el consiguiente efecto de disuasión de su empleo incluso administrándose los datos de manera efectiva. El término “cibernético” es una combinación de las palabras “cibernético” y “organismo”, acuñado por Manfred Clynes (1925-2020), científico, inventor y mú-



sico austriaco y Nathan S. Kline (1916-1982), médico psiquiatra y psicólogo estadounidense en su artículo “Cyborgs and Space” (71) publicado en *Astronautics* en 1960.

La inclusión de diferentes transductores (es decir, dispositivos multimodales) o la evaluación simultánea de analitos de forma multiplexada amplían su funcionalidad. El desarrollo de tales soluciones requiere contribuciones procedentes de una amplia gama de saberes (72). Los sensores portátiles multimodales, al integrar perfectamente los datos de salud en la vida diaria, contribuirán a transformar la atención médica personalizada, permitiendo una gestión proactiva de la salud y el bienestar a través de un monitoreo no invasivo, integral y en tiempo real. Como sea, los desafíos relacionados con las compensaciones de diseño, los sensores mejorados, la potencia, el tamaño, los algoritmos de cálculo y la seguridad deben resolverse lo antes posible para hacer realidad la utilidad clínica de estos dispositivos portátiles.

9. COMENTARIOS FINALES

Es notoria la necesidad de disponer de plataformas de puntos de atención (POC) para la identificación y el diagnóstico temprano que sean rápidas, de fácil transporte y escaso coste, de uso sencillo, descentralizables y de frecuencia elevada (73). La asistencia sanitaria es uno de los sectores favorecidos a destacar (74) por el continuo avance de la IoT. La sucesiva disminución en el coste de la electrónica de silicio de baja potencia y el incremento en su potencia de cómputo, la descentralización consiguiente en el proceso de tratamiento de los datos y la capacidad de conexión de las redes inalámbricas con los actores de la atención médica acelera el proceso de la toma de decisiones. Las fibras de conversión mecanoeléctricas (75) tienen amplias aplicaciones en tres campos principales: atención médica personalizada, detección inteligente y protección, favoreciendo el uso de los dispositivos electrónicos portátiles. La inte-

gración de estos modernos materiales (76-79) dispositivos implantables inclusive dotados con funciones especiales, hacen posible el rápido desarrollo de plataformas de detección en el punto de atención (POC), sustituyendo a los procedimientos médicos convencionales. Los nanomateriales encuentran uso (80) en el diagnóstico, biosensores, liberación de fármacos, en análisis de imagen y terapia fototérmica en cáncer. Los micro/nanorobots magnéticos (MNR) surgen como candidatos terapéuticos prometedores (81) que brindan estrategias alternativas para la terapia del cáncer. La mutua conexión de los nanosensores y nanodispositivos con Internet conduce al desarrollo de un estándar de última generación basado en la IoT denominado “Internet de las nanocosas” (IoNT). La inteligencia artificial (IA) y la tecnología móvil ofrecen herramientas de recopilación de datos, a un coste reducido, que facilitan el rastreo de contactos, la verificación de síntomas, la predicción de epidemias y vulnerabilidades, y un diagnóstico más rápido de la enfermedad. Todo esto, no obstante, plantea problemas que tienen que ver con la seguridad de los datos, el cifrado, la ética y la regulación adecuada. Las máscaras faciales con sensores integrados (82-83) permiten el acceso directo a importantes parámetros (patrones y tasas de respiración, biomarcadores de inflamación, detección de patógenos en el aire).

La capacidad de realizar diagnósticos y monitoreo de la enfermedad (84) a partir de una amplia variedad de muestras con una eficiencia similar y un procesamiento mínimo pone a prueba el futuro de los dispositivos analíticos y bioanalíticos basados en los teléfonos inteligentes. La biodetección se trata de uno de los métodos con mayores perspectivas de futuro para actuar frente a las pandemias (13, 47, 65-66, 85-86). Se democratizan así las oportunidades que brindan sus modalidades, diversas y versátiles, que apuntan a una integración sin precedentes de sensores, métodos bioanalíticos, conectividad e informática. Los avances en materiales para sensores y la detección



analítica basada en el aprendizaje automático (ML) (22, 61) conforman una plataforma prometedoras para el futuro de la atención médica individualizada y no invasiva. La fabricación de biosensores a escala micrométrica o nanométrica ofrece numerosas ventajas, incluidos menores costos de producción (86), menores requisitos de muestra, tiempos de reacción más cortos y la capacidad de realizar múltiples pruebas simultáneamente en el mismo dispositivo. Estas características son fundamentales para la integración y miniaturización de dispositivos de diagnóstico.

George McClelland Whitesides (1939-), químico estadounidense (MIT/ Universidad de Harvard), uno de los padres del autoensamblaje molecular (Scholar Google Citas: 431.134; Índice h: 300, Rank Top 2% Stanford University 74/ 57.118), es un admirador declarado (87) de la química analítica y en 2013 ha comentado: “La Química Analítica es extremadamente importante, probablemente incluso más importante de lo que creen los químicos analíticos. Todo en ciencia requiere medición; los químicos analíticos son expertos en la ciencia de la medición, no solo en determinar las estructuras de moléculas y la composición de mezclas de moléculas”.

Resulta fundamental aunar los esfuerzos en todos los ámbitos (88) para avanzar en el desarrollo de herramientas integradas para la prevención, diagnóstico, monitorización, y tratamiento de la enfermedad. “To deal with one’s own concerns is obsolete. It is now necessary to work in an interdisciplinary manner” (89). “Today, science has few borders, and collaboration is the name of the game” (16). Lo que ya reconocía Renato Descartes (90).

10. REFERENCIAS

- Mourtzis D, Angeloupoulos J, Panopoulos N. A literature review of the challenges and opportunities of the transition from industry 4.0 to Society 5.0. *Energies* 2022; 15(17):6276.
- Huang A, Wang B, Li X, Zheng P, Mourtzis D, Wang L. Industry 5.0 and Society 5.0 -Comparison, complementation and co-evolution. *J Manuf Syst* 2022; 64: 424-428.
- Gong S, Lu Y, Yin J, Levin A, Cheng W. Materials-driven soft wearable bioelectronic for connected healthcare. *Chem Rev* 2024; 124 (2): 455-553.
- Popov VV, Kudryatseva EV, Katiyar NK, Shishkin A, Stepanov SI, Goel S. Industry 4.0 and digitalisation in healthcare. *Materials* 2022; 15(6): 2140.
- Asuero AG (Coord.). Química y medida: de los orígenes a la miniaturización y a la nanoanalítica (una perspectiva histórica de la química analítica). Editorial Universidad de Sevilla: Sevilla, 2022.
- Marchesini M, Constantino ML, Raia L, Bono N, Candiani G. Point-of-care nucleic acid detection: from molecular design to clinical reality *ACS Omega* 2025; 10(34): 38328-38344.
- Mujawar MA, Gohel H, Bhardwaj SK, Srinivasan S, Hickman N, Kaushik A. Nano-enabled biosensing systems for intelligent healthcare: towards COVID-19 management. *Mater Today Chem* 2020; 17: 100306.
- Augustine Sm Venkadesh A, Kaushal S, Lee E, Ajaj M, Lee N-E. Point-of-care testing: the convergence of innovation and accessibility in diagnostics. *Anal Chem* 2025, 97 (18): 9569-9599.
- Adedokun G, Alipanah M, Fan ZU. Sample preparation and detection methods in point-of-care devices towards future at-home testing. *Lab Chip* 2024; 24 (15): 3626-3650.
- Peeling RW. Diagnostics in a digital age: an opportunity to strengthen health systems and improve health outcomes. *Int Health* 2015; 7 (6): 384-389.
- Liu C, Mao B, Martinez V,..., Qian P, Wu L, Li C. A facile assay for rapid detection of COVID-19 antibodies. *RSC Adv* 2020; 10(47): 28041-28048.
- Land KJ, Boeras DI, Chen X_S, Ramsay AR, Peeling RW. REASSURED diagnostics to inform disease control strategies, strengthen health systems and improve patient outcomes. *Nat Microbiol* 2019; 4: 46-54.
- Madhurantakam S, Muthukumar S, Prasad S. Emerging electrochemical biosensing trends for rapid diagnosis of COVID-19 biomarkers of point-of-care platforms. *ACS Omega* 2022; 7 (15): 12467-12473.



14. Hou F, Sun S, Abdullah SW, Tang Y, Li X, Guo H. The application of nanoparticles in point-of-care testing (POCT) immunoassays. *Anal Meth* 2023; 15(18): 2154-2180.
15. Khan AR, Hussain WL, Shum HC, Hassan SU. Point of care testing: a critical analysis of the market and future trends. *Front Lab Chip* 2024; 3: 1394752.
16. Jalali-Hervay M, Arrastra M, Gómez FA. How chemometrics improve microfluid research. *Anal Chem* 2015; 87(7): 3544-3555.
17. Canciu A, Cernat A, Tertis M, Graur F, Cristea C. Tackling the issue of healthcare associated infections through point-of-care devices. *Trends Anal Chem* 2023; 161: 116983.
18. Thimmaraju MK, Trivedi R, Hemalatha G, Thirupathy B. Microfluid revolution and its impact on pharmaceutical materials: a review. *Mater Today Proc* xxxx; xx; xxx.
19. Baker DV, Bernal-Escalante J, Traaseth C, Wang Y, Tran MB, Keenan S, Algar WR. Smartphones as a platform for molecular analysis: concepts, methods, device and future potential. *Lab Chip* 2025; 25(5): 884-955.
20. Beduk T, Beduk D, Hasan MR, ..., Narang J, Salama KN, Timur S. Smartphone-based multiplexed biosensing tools for health monitoring. *Biosensors* 2022; 12 (8): 583.
21. Ramalingam M, Jaisankar A, Cheng L, ..., Kim H-W, Shi Z, Marazza G. Impact of nanotechnology on conventional and artificial intelligence-based biosensing strategies for the detection of viruses. *Discov Nano* 2023; 18: 58.
22. Xiao X, Yin J, Xu, J, Tat T, Chen J. Advances in machine learning for wearable sensors. *ACS Nano* 2024; 18 (34): 22734-22751.
23. Udugama B, Kadhiresan P, Kozlowski HN, ..., Mubareka S, Gubbay JB, Chan WCR. Diagnosing COVID-19: the disease and tools for detection. *ACS Nano* 2020; 14(4): 3822-3835.
24. O'Callaghan J. Apple Vision Pro: what does it mean for scientists? *Nature* 2024 Feb 12. doi: 10.1038/d41586-024-00387-z. Online ahead of print.
25. Ahmed SF, Sharmín S, Kuldeep SA, Lameesa A, Alam Md SB, Liu G, Gandomi AH. Transformative impacts of the internet of medical things on modern healthcare. *Results Eng* 2025, 25: 103787.
26. Rao PM, Deebak BD. A comprehensive survey on authentication and secure key management in internet of things: challenges, countermeasures, and future directions. *Ad Hoc Netw* 2023; 146: 103159.
27. Suleiman TH, Adinoyi A. Telemedicine and Smart Healthcare - the role of artificial intelligence, 5G, Cloud services, and other enabling technologies. *Int J Commun Netw Syst Sci* 2023; 16 (3): 31-51.
28. El-Zawawy MA, Vadusev H, Conti M. BDMFA: Forensic-enabling attestation technique for Internet of Medical Things. *Internet Things* 2025; 29: 101464.
29. Lukas H, Xu C, Yu Y, Gao W. Emerging telemedicine tools for remote COVID-19 diagnosis, monitoring, and management. *ACS Nano* 2020; 14 (12): 16180-16193.
30. Guillou I L. Using genetics to personalise treatments. *Chem World* 2022; 19(7): 24-28.
31. Zovko K, Seric L, Perkovic T, Belani H, Solic P. IoT and health monitoring wearable devices as enabling technologies for sustainable enhancement of life quality in smart environments. *J Clean Prod* 2023; 413: 137506.
32. Alsabah M, Naser MA, Albahri AS, Albahri OS, Alamoodi H, Sadiq H. A comprehensive review on key technologies toward smart healthcare systems based IoT: technical aspects, challenges and future directions. *Artificial Intelligence Review* 2025; 58: 343.
33. Bruno RR, Wolf G, Wernley B, ..., Heidari H, Kelm M, Jung C. Virtual and augmented reality in critical care medicine: the patient's, clinician's and researcher's perspectives. *Critical Care* 2022; 26: 326.
34. Ahad A, Jiangbina Z, Tahir M, Shayea I, Sheikh A, Rasheed F. 6G and intelligent healthcare: taxonomy, technologies, open issues and future research directions. *Internet Things* 2024; 25: 101068.
35. Ahmad HF, Rafique W, Rasool RU, Alhumam A, Anwar Z, Qadir J. Leveraging 6G, extended reality, and IoT big data analytics for healthcare: a review. *Comput Sci Rev* 2023; 48: 100558.
36. Asuero AG. Nanociencia, nanotecnología y nanoanalítica: anotaciones, historias y anécdotas. *Real Academia Nacional de Farmacia: Madrid*, 2023, p. 21.
37. Soori M, Dastres R, Arezoo B, Jough KKG. Intelligent robotic systems in Industry 4.0: a re-



- view. *J Adv Manuf Sci Technol* 2024; 2024007.
38. Thomas MJ, Lal V, Baby AK, Vp MR, James A, Raj AK. Can technological advancements help to alleviate COVID-19 pandemic? *J Biomed Inform* 2021; 117: 103787.
 39. Khan H, Kushwah KK, Singh S, Urkude H, Maurya M, Sadasivuni KK. Smart technologies driven approaches to tackle COVID-19 pandemic: a review. *3 Biotech* 2021; 11: 50.
 40. Sikander S, Biswas P, Kulkarni P. Recent advancements in telemedicine: surgical, diagnostic and consultation devices. *Biomed Eng Adv* 2023; 6: 100096.
 41. Kalasin S, Surareungchai W. Challenges of emerging wearable sensors for remote monitoring toward telemedicine healthcare. *Anal. Chem.* 2023; 95 (3): 1773-1784.
 42. Li J, Carayon P. Health Care 4.0: a vision for smart and connected healthcare. *IISE Trans Health Syst Eng* 2021; 11(3): 171-180.
 43. ODIN H2020; <https://odin-h2020.eu/>
 44. Shabur MdA, Shahriar A, Ara MstA. From automation to collaboration: exploring the impact of industry 5.0 on sustainable manufacturing. *Discov Sustain* 2025; 6: 341.
 45. Ortega Ortiz de Apodaca F. Biosensores y Biochips: Herramientas para el diagnóstico y la terapéutica. Real Academia Nacional de Farmacia: Madrid, 2006.
 46. Kumar A, Maiti P. Paper-based sustainable biosensors. *Mater Adv* 2024; 5(9): 3563-3586.
 47. Baskar A, Madhivanan K, Atchudan R, Arya S. Nanoparticle electrochemical biosensors for virus detection. *Clin Chim Acta* 2025; 566: 120054.
 48. Bucukovski J, Miller BL. Everything0s under control: maximizing biosensor performance through negative control probe selection. *Anal. Chem.* 2025; 97: 3525-3535.
 49. Soler M, Lechuga LM. Chemistry for Next Generation Diagnostics. Key factors in the development of medical biosensors. *Metode Science Studies Journal* 2025; 15(2): e27225; <https://doi.org/10.7203/metode.15.27225>
 50. Mathkor DM, Mathkor N, Basfar Z, Bantun F, Slama P, Ahmad F, Haque S. Multirole of the internet of medical things (IoMT) in biomedical systems for managing smart healthcare systems: an overview of current and future innovative trends. *J Infect Public Health* 2024; 17: 559-572.
 51. Mayer M, Baeumner AJ. A megatrend challenging Analytical Chemistry: Biosensor and chemosensor concepts ready for the Internet of the Things. *Chem. Rev.* 2019; 119 (13): 7996-8027.
 52. Karatas M, Eriskin L, Deveci M, Pamucar D, Garg H. Big Data for healthcare Industry 4.0: applications, challenges and future perspectives. *Expert Syst Appl* 2022; 200: 116912.
 53. Capella JV, Bonastre A, Campelo JC, Ors R, Peris M. IoT& environmental analytical chemistry. *Trends Envir Anal Chem* 2020; 27: 116986.
 54. Kokila M, Reddy S. Authentication, access control and scalability models of Internet of Things security - a review. *Cyber Security and Applications* 2025; 3; 100057.
 55. Sempionatto JR, Jeerapan I, Krishnan S, Wang J. Wearable chemical sensors: emerging systems for on-body analytical chemistry. *Anal Chem* 2020; 92(1): 378-396.
 56. Chandran M, Verapandian M, Dhanasekaran B, Govindaraju S, Yun R. Advanced nanomaterials for health monitoring and diagnostics in next-generation wearable sensors. *Mater Sci Eng B* 2025; 165: 101015.
 57. Li P, Lee G-H, Kim SY, Kwon SY, Kim H-R, Park S. From diagnosis to treatment: recent advances in patient-friendly biosensors and implantable devices. *ACS Nano* 2021; 15(2): 1960-2004.
 58. He T, Wen F, Yang Y, Le X, Liu W, Lee C. Emerging wearable chemical sensors enabling advanced integrated systems towards personalized and preventive medicine. *Anal Chem* 2023; 95(1): 490-514.
 59. Wang K, Liu W, Wu J, ..., Hou C, Zhang H, Luo Y. Smart wearable sensor fuels noninvasive body fluid analysis. *ACS Appl Mater Interfaces* 2025; 17: 13279-13301.
 60. Tu D, Tang Y, Huang Y, ..., Lu M, Luo Z, Duan Y. Next-generation wearable/implanted sensors based on fiber optic and its application: from in vitro to in vivo. *ACS Sens* 2025; 10 (6): 3818-3839.
 61. Harun-Or-Rashid Md, Mirzaei S, Nasiri N. Nanomaterial innovations and machine learning in gas sensing technologies for real-time health diagnostics. *ACS Sens* 2025; 10 (3): 1620-1640.
 62. Kumar A, Yadav JP, Maheshwari S, Singh A, Srivastava V, Khalilullah H, Verma A. Revolutio-



- nizing healthcare with 5 G and AI: integrating emerging technologies for personalized care and cancer treatment. *Intel Hosp* 2025; 1: 100005.
63. Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. 5 G technology for healthcare: feature, serviceable pillars, and applications. *Intelligent Pharmacy* 2023; 1:2-10.
64. Garg M, Parihar A, Rahman Md S. A. Advanced and personalized healthcare through integrated wearable sensors (versatile). *Mater Adv* 2024; 5 (2): 432-452.
65. Faham S, Salimi A, Ghavami R. Electrochemical-based remote biomarker monitoring: toward Internet of Wearable Things in telemedicine. *Talanta* 2023; 253: 123892.
66. Chenani H, Saeidi M, Rastkhiz MA, ..., Orouji M, Hatamie A, Simchi A. Challenges and advances of hydrogel-based wearable electrochemical biosensors for real-time monitoring of biofluids: from lab to market. A review. *Anal Chem* 2024; 96 (20): 8160-8183.
67. Clark KM, Ray TR. Recent advances in skin-interfaced wearable sweat sensors: opportunities for equitable personalized medicine and global health diagnostics. *ACS Sens* 2023; 8(10): 3606-3622.
68. Gunawardhana KR DG, Simorangkir RBVB, McGuinness GB, ..., Ward TE, O'Flynn B, Coyle SM. The potential of electrospinning to enable the realization of energy-autonomous wearable sensing systems. *ACS Nano* 2024; 18(4): 2649-2684.
69. Dai J, Li H, Xie G, Que L, Yuan H, Su Y. Self-supported composite textiles for ultrasensitive physiological monitoring. *ACS Appl Electron Mater* 2025; 7(15): 7321-7329
70. Polat EO, Cetin MM, Tabak AF, ..., Kabbani A, Hamed H, Gul B. Transducer technologies for biosensors and their wearable applications. *Biosensors* 2022; 12(6): 385.
71. Clynes ME, Kline NS, Cybors and Space. *Astronautics* 1960 (September): 26-27; 74-76.
72. Ma C-B, Shang X, Sun M, No X, Bai J, Du Y, Zhou M. Emerging multifunctional wearable sensors: integrating multimodal sweat analysis and advanced material technologies for next-generation health monitoring. *ACS Sens* 2025; 10 (4): 2388-2408.
73. Linh VTN, Han S, Koh, E, Kim S, Jung HS, Koo J. Advances in wearable electronics for monitoring human organs: bridging external and internal health assessments. *Biomaterials* 2025; 314: 122865.
74. Cui S, Han D, Chen G, Liu S, Xu Y, Yu Y, Peng L. Toward stretchable flexible integrated sensor systems. *ACS Appl Mater Interfaces* 2025; 17 (8): 11397-11414.
75. Zhao J, Fan X, Xie H, ... Tao G, Wang ZL, Dong, K. Revolutionizing wearable sustainable energy enabled by mechano-electric conversion fibers. *Energy Environ Sci* 2025; 18 (8): 3955-3985.
76. Ray TR, Choi J, Bandodkar AJ, ..., Tian L, Ghafari G, Rogers JA. Bio-integrated wearable systems: a comprehensive review. *Chem Rev* 2019; 119(8): 5461-5533.
77. Mishra A, Singh PK, Chauhan N, ... Shukla YK, Jain U, Tiwari A. Emergence of integrated biosensing-enabled digital healthcare devices. *Sens Diagn* 2024; 3, 718.
78. Gong S, Yin J, Levin A, Cheng W. Materials-driven soft wearable bioelectronics for connected healthcare. *Chem. Rev.* 2024; 124 (2): 455-553.
79. Babu A, Mandal D. Roadmap to human-machine interaction through triboelectric nanogenerator and machine learning convergence. *ACS Appl Energy Mater* 2024; 7(3): 822-833.
80. Asuero AG. Nanometrología y nanoanalítica: anotación en el contexto bioanalítico y nano(biomédico)farmacéutico. *An Real Acad Farm* 2022 88(S): 377-386.
81. Zhang L, Wang S, Hou Y. Magnetic micro/nanorobots in cancer theranostics: from designed fabrication to diverse applications. *ACS Nano* 2025; 19 (8): 7444-7481.
82. Park J, Lee Y, Cho S, ..., Kang D-h, Lee S, Ko H. Soft sensors and actuators for wearable human-machine interfaces. *Chem Rev* 2024; 124 (4): 1464-1534.
83. Woodland MB, Ong J, Zaman N, ..., Kamran SA, Lee AG, Tavakkoli A. Applications of extended reality in spaceflight for human health and performance. *Acta Astronautica* 2024; 214: 748-756.
84. Rossi M, Rehman S. Integrating artificial intelligence into telemedicine: evidence, challenges, and future directions. *Cureus* 2025; 17(8): e90829.
85. Junior DW, Deroco PB, Hrynieciewicz BM, Kubota LT. Strategies for electrochemical point-of-



- care biosensors. *Annu Rev Anal Chem* 2025; 18: 307-333.
86. Boukherroub R, Szunerits S. Nanotechnology-driven electrochemical and electrical point-of-care devices and diagnostic tests. *Annu Rev Anal Chem* 2024; 17: 173-195.
87. Whitesides GM. Is focus on “molecules” obsolete? *Annu Rev Anal Chem* 2013; 6:1-29.
88. Asuero AG, COVID-19: una aproximación pluridisciplinar. Editorial Universidad de Sevilla: Sevilla, en prensa.
89. Malhaire M, Lagarce F. Is translational approach becoming a reality in nanomedicine? *Eur J Nanomed* 2015; 7(2): 79-83, p. 79.
90. Descartes R. Règles pur la direction de l’esprit. *OEvres de Descartes*, Victor Cousin, Levrault, 1826, Tome XI.

Si desea citar nuestro artículo:
**Puntos de atención. Internet de las cosas.
Salud móvil: perspectivas farmacéuticas**

Agustín García Asuero

An Real Acad Farm (Internet).

An. Real Acad. Farm. Vol. 92. nº 1 (2026) · pp. 65-79

DOI: <http://dx.doi.org/10.53519/analesranf.2026.92.01.04>

