Descargado el: 8-11-2026 ISSN 1727-897X

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Biomédicos y desarrollos tecnológicos: binomio indispensable para las unidades de salud en tiempos de COVID-19

Biomedical and technological developments: indispensable pairing for health units in COVID-19 times

Ernesto López Gonzalez[1] Yolanda Cabrera Macías[1] Marle Pérez de Armas[2] Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez[3] Ernesto López Cabrera[4]

[1] Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos, Cuba
[2] Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez", Cuba
[3] Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba
[4] Hospital Pediátrico Universitario Paquito González Cueto de Cienfuegos, Cuba

Cómo citar este artículo:
López-Gonzalez E, Cabrera-Macías Y, Pérez-de-Armas M, Escoriza-Martínez T, López-Cabrera E. Biomédicos y desarrollos tecnológicos: binomio indispensable para las unidades de salud en tiempos de COVID-19. **Medisur** [revista en Internet]. 2022 [citado 2026 Nov 8]; 20(2):[aprox. 13 p.]. Disponible en: https://medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/5306

Resumen

La preocupación que tiene la sociedad en todos los países acerca de la salud sigue siendo mayor que sobre cualquier otro aspecto. Una calidad de vida óptima solo es posible con una salud favorable. Ante los recientes eventos de la COVID-19, la importancia de la tecnología médica en la atención del paciente ha resultado evidente. El trabajo pretende mostrar el relevante papel que juega la rama biomédica, su influencia e impacto en los procesos de las unidades de salud. Resume algunos de los desarrollos tecnológicos logrados desde el contexto internacional hasta el local en el complejo escenario epidemiológico en el que se encuentra el planeta. Describe la necesaria cronología del sistema electromédico en Cuba con énfasis en Cienfuegos. Defiende la idea de que es necesario un cambio conceptual acerca del importante papel que juega la rama biomédica, su influencia e impacto en los procesos de las unidades y que los ingenieros biomédicos y electromédicos, así como los licenciados y técnicos en electromedicina, merecen un adecuado reconocimiento ante la comunidad científica por sus tangibles logros en tiempos de Covid-19. Ellos también salvan vidas.

Palabras clave: biotecnología, medicina, COVID-19

Abstract

The concern that society has in all countries about health continues to be greater than about any other aspect. An optimal quality of life is only possible with favorable health. Given the recent COVID-19 events, the importance of medical technology in patient care has become apparent. The aim of this work is to show the relevant role played by the biomedical branch, its influence and impact on the processes of health units. It summarizes some of the technological developments achieved from the international to the local context in the complex epidemiological scene in which the planet finds itself. It describes the necessary chronology of the electromedical system in Cuba with an emphasis on Cienfuegos. It defends the idea that a conceptual change is necessary about the important role played by the biomedical branch, its influence and impact on the processes of the units and that biomedical and electromedical engineers, as well as electromedical graduates and technicians, deserve an adequate recognition before the scientific community for their tangible achievements in Covid-19 times. They also save lives.

Key words: biotechnology, medicine, COVID-19

Aprobado: 2022-01-07 10:51:36

Correspondencia: Ernesto López Gonzalez. Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos. Cuba. asesorf@ucm.cfg.sld.cu

INTRODUCCIÓN

La preocupación que tiene la sociedad en todos los países acerca de la salud sigue siendo mayor que sobre cualquier otro aspecto. Una calidad de vida óptima solo es posible con una salud favorable.[1]

Desde los primeros centros hospitalarios, la sociedad ha buscado la continua mejora en la calidad del sector sanitario. La calidad de la asistencia sanitaria se considera como el nivel de utilización de los medios más adecuados para conseguir las mayores mejoras en la salud.[2]

La gran motivación de las instituciones hospitalarias públicas y privadas, que apuestan por soluciones tecnológicas a sus procesos operativos, es gestionar de una manera más efectiva sus recursos financieros, humanos y materiales. Esto es especialmente relevante en el contexto actual, cuando se debe atender a una población cada vez mayor, con diferentes condiciones de salud, lo que demanda más y mejor infraestructura, tecnología, personal médico calificado y mejores procedimientos clínicos, al mismo tiempo de que se busca disminuir costos para que sea accesible a más gente. Los proyectos que varias instituciones de salud tenían listos para ejecutar, la pandemia los obligó a adelantarlo.

El llamado virus SARS-CoV-2 (Grupo: IV, Virus ARN monocatenario positivo; familia: Coronaviridae; Coronavirus: SARS Coronavirus; que originó la epidemia del Síndrome respiratorio agudo grave, SARS por sus siglas en inglés, es una neumonía atípica-), detectado en Wuhan, China, a final de 2019, es el tercer coronavirus que emerge de forma epidémica en la población humana en las últimas dos décadas. Una situación que ha puesto a las instituciones de salud pública a nivel mundial en alerta máxima. La situación originada por la rápida y progresiva propagación de la enfermedad producida por este virus, la COVID-19 (enfermedad infecciosa provocada por el virus SARS-CoV-2, *coronavirus desease* en inglés), en países de Asia, Oriente Medio, América, Oceanía y África, fue catalogada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como “una emergencia de salud pública de importancia internacional” y seguidamente, como una pandemia.[3,4]

Ante los recientes eventos de la COVID-19, la importancia de la tecnología médica en la atención del paciente ha resultado evidente.[5] Esta pandemia ha ayudado a destacar el impacto positivo que la ingeniería biomédica en particular puede tener en la vida de las personas.[5]

Desde las soluciones de limpieza que desinfectan los pasillos de un hospital hasta los ventiladores que ayudan a mantener vivos a los pacientes, los ingenieros biomédicos desempeñan un rol importante en los esfuerzos de la humanidad para luchar contra esa enfermedad.[6]

El papel de un ingeniero biomédico incluye el diseño de equipos y dispositivos médicos para ayudar a la recuperación o mejorar la salud de las personas. También puede incluir la creación y adaptación de equipos médicos. Por tanto, es una profesión que requiere un excelente conocimiento de ciencias de la vida (*Life Sciences*); comprenden todos los campos de la ciencia que estudian los seres vivos, -plantas, animales y seres humanos – entre los que se encuentran medicina, biomedicina y bioquímica. Metodológicamente abarca todos los dispositivos y aparatos relacionados. Los avances tecnológicos en biología molecular y la biotecnología han dado lugar a un florecimiento de las especialidades y campos nuevos, a menudo interdisciplinarios. Utilidad: para mejorar la calidad y el nivel de vida. Aplicaciones: salud, agricultura, medicina e industria farmacéutica y ciencia de los alimentos, ingeniería electrónica e informática; una naturaleza inventiva y buenas habilidades para la resolución de problemas.[5]

Los ingenieros biomédicos y electromédicos, licenciados y técnicos en electromedicina son los profesionales con quienes debemos contar, hoy más que nunca, a la par de los profesionales de la salud, quienes ponen en riesgo su vida no solo en esta pandemia.

El propósito de este trabajo es mostrar el relevante papel que juega la rama biomédica, su influencia e impacto en los procesos de las unidades de salud.

MÉTODOS

Como criterios para la selección de las 60 fuentes consultadas se tomaron la declaración explícita de los autores en sus textos referida al posicionamiento acerca de la importancia de la biomedicina en su relación con los desarrollos tecnológicos en tiempos de pandemia; navegador: Mozilla Firefox, motor de búsqueda: Google, base de datos: Scielo, palabras clave: “biomédicos, desarrollos tecnológicos”. Aparecen

referenciados 28 textos con el 92,9 % de actualización.

DESARROLLO

Contexto internacional

Una de las complicaciones más agudas de la COVID-19 es el debilitamiento del sistema respiratorio, que requiere de hospitalización inmediata y de equipos de asistencia invasivos para efectuar una ventilación mecánica. Los ventiladores o respiradores artificiales son equipos médicos que ofrecen soporte respiratorio para generar un flujo apropiado de oxígeno a los pulmones y, a su vez, eliminar el dióxido de carbono. Entre las principales funcionalidades de un respirador artificial se encuentran el control de flujo, volumen y presión inspiratorios, nivel de oxigenación (concentración de oxígeno) y frecuencia respiratoria.[7]

En particular, para el desarrollo de un respirador artificial se requiere primero asesoría clínica por médicos neumólogos e internistas, y enseguida trasladar los requerimientos de operación para el diseño mecánico, eléctrico y electrónico. Una vez planteado un primer prototipo físico, se necesitan expertos en programación de dispositivos electrónicos y en software para implementar las rutinas de operación y seguridad. En todos estos pasos se requiere documentar cada componente del prototipo en función de elementos comerciales y de diseño industrial que, eventualmente, permitan una producción en masa.

Finalmente, en las etapas de validación y pruebas clínicas se requiere nuevamente de la participación de médicos neumólogos e internistas para depurar el diseño y operación del prototipo. En este contexto, el perfil profesional que tendría la capacidad de integrar todas las disciplinas involucradas sería un ingeniero biomédico.

Debido a las tasas tan altas de contagios por la COVID-19 en todo el mundo, los sistemas de salud se han visto rebasados en sus inventarios de asistencia respiratoria y en consecuencia presentaron un déficit para la atención de pacientes, lo cual detonó un interés mundial por desarrollar respiradores artificiales de bajo costo y de rápida fabricación. En este esfuerzo mundial se sumaron compañías automotrices (Tesla, General Motors, Ford, Nissan, Ferrari y Volkswagen) y de electrodomésticos (Dyson), así como universidades y grupos no gubernamentales sin fines de lucro.[7]

Aunque, por ser sistemas de soporte de vida, la comercialización de estos equipos requiere la aprobación de una agencia gubernamental en cada país, por ejemplo, en México sería la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) y en Estados Unidos de América correspondería a la Food and Drug Administration (FDA). Estas oficinas poseen protocolos muy estrictos de aprobación y esquemas de validación progresivos, por lo que, en general, el proceso es largo. Sin embargo, ante la situación de emergencia que impuso la pandemia por COVID-19, estas agencias han buscado simplificar sus procesos de aprobación, sin dejar de tener como prioridad la calidad y seguridad sanitaria de estos equipos, así como funcionalidades mínimas.[7]

Los gobiernos de muchos países financiaron grupos multidisciplinarios que han desarrollado propuestas de respiradores artificiales, y también universidades promovieron retos abiertos para presentar diseños bajo ciertas condiciones de operación.

En México, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) apoyó el desarrollo de dos equipos: Ehécatl 4T y Gätsi, en conjunto con el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (Cidesi) y la empresa Dydetect. Si se compara con el esfuerzo mundial por generar una vacuna para la COVID-19, este terreno parecería mucho más susceptible de aportaciones de las comunidades científicas, y de grupos y empresas de desarrollo tecnológico. El diseño de código abierto que se generó por el proyecto MIT Emergency Ventilator (MIT E-Vent) desató un interés mundial por generar aportaciones, el cual tenía un antecedente desde el 2010 y se basaba en una bolsa *Airway Mask Bag Unit* (AMBU) o resucitador manual. Sin embargo, la documentación del proyecto MIT E-Vent no establecía los requerimientos de diseño y seguridad sanitaria que se requieren para una futura comercialización y aprobación de una agencia gubernamental.[7]

La Organización Mundial de la Salud (OMS)[8] sugiere el empleo de los “Módulos armonizados para evaluar los establecimientos de salud en el contexto de la pandemia de COVID-19”, como un conjunto de herramientas que permiten realizar evaluaciones rápidas y precisas de la capacidad presente, posible (para hacer frente a un gran

aumento de la demanda) y futura de los establecimientos de salud a lo largo de las diferentes fases de preparación, respuesta y recuperación de la COVID-19. El conjunto consta de módulos sobre la planificación de la preparación, la respuesta y la gestión de los casos de COVID-19 en los establecimientos, así como de módulos detallados sobre la disponibilidad de medicamentos esenciales, pruebas diagnósticas, suministros y equipos biomédicos esenciales en relación con la COVID-19, la capacidad de prevención y control de las infecciones y el diseño de los centros de tratamiento. Además, incluye un módulo sobre la continuidad de los servicios de salud esenciales durante el brote de COVID-19 para facilitar la evaluación de los cambios en el uso de los servicios y las modificaciones en su prestación, que abarca, asimismo, las capacidades necesarias para garantizar que los servicios de salud esenciales que no están relacionados con la COVID-19 sigan estando disponibles sin interrupción.[8]

Estos módulos pueden utilizarse para fundamentar la priorización de las acciones y la toma de decisiones en los establecimientos de salud a escala subnacional y nacional. Los países pueden seleccionar diferentes combinaciones de módulos según el contexto y en función de si necesitan utilizarlos de forma puntual o de manera recurrente durante toda la pandemia.[8]

Se recogen inventarios detallados para la reasignación, adquisición y planificación de los equipos biomédicos destinados al manejo de casos de COVID-19 en los establecimientos. Esta herramienta permite evaluar fácilmente la disponibilidad cuantificada y las causas del mal funcionamiento de las diferentes fuentes de suministro de oxígeno y de los sistemas de administración a los pacientes, a fin de determinar las prioridades y los requisitos de reasignación en función de las necesidades. Esta herramienta se ha elaborado para facilitar una evaluación rápida de la preparación de los establecimientos y de la disponibilidad de los dispositivos existentes, de modo que pueda acelerarse la toma de decisiones relativa a la puesta en marcha del plan de respuesta.

Forman parte del equipo biomédico para manejar los casos de COVID-19 los siguientes elementos (equipos): generadores (generator); estabilizadores de tensión (voltaje stabilizer: estabilizadores de voltaje electromecánicos y de semiconductores); sistema de alimentación ininterrumpida -SAI- ("UPS" *uninterupted power supply*); monitotres de constantes vitales (*patient monitor*); pulsioxímetros (integrado, portátil y de mesa, *pulse oximeters*); concentrador de oxígeno (oxigen concentrator); botella o botellón de oxígeno (*oxigen cylinder*: de diferentes tamaños D, E, F, G, J); válvula de conexión de la botella de oxígeno (*oxigen cylinder valve connection:* válvula con estribo de seguridad de tipo pin-index, válvula lateral convencional); caudalímetros (*flow meters*: tubo torpe o rotámetro, manómetro de bourdon sencillo y múltiple, marcador o regulador del flujo); divisores de flujo (flow splitters: cuadro divisor y caudalímetro doble); interfaz de administración de oxígeno (*oxigen delivery interfaz*: cánula nasal o gafas nasales, catéter nasal, mascarilla facial, mascarilla de venturi); aparatos para mantener la presión positiva continua sobre las vías respiratorias (CPAP & BiPAP: CPAP-continua, con la misma presión para la inhalación y la exhalación- y BiPAP-continua pero con diferente presión para la inhalación y la exhalación); cánulas nasales de alto flujo –CNAF- (*high-flow nasal cannula* –HFNC-); aspiración (*suction*: manual y eléctrica); laringoscopio (*laryngoscope*: Miller y Macintosh); equipos de intubación (*intubation sets*: tubo endotraqueal, guías para la introducción del tubo, fiador metálico frente a fiador moldeable, mascarilla laríngea, detector colorimétrico de CO2); cánulas para vías respiratorias (*airway*: cánula nasofaríngea y cánula orofaríngea –Guedel-); respiradores mecánicos (*mechanical ventilator*: transportable, portátil y de cuidados intensivos); autoclaves y esterilizadores (autoclave/*sterilizator*); terminales de pared (terminal wall units); distribuidor de oxígeno (*oxygen distribution*: conmutador automático -los manuales tienen un interruptor-); generador de oxígeno por PSA ("PSA" *oxygen plant*).[8]

Obligada mención merecen los tensiómetros digitales, termómetros infrarrojos, balanzas automáticas digitales, termómetros digitales de comprobación (empleados para monitorear la temperatura de conservación de las vacunas en el interior del refrigerador del vacunatorio y sitio clínico) empleados en el momento de la intervención sanitaria (vacunación de la población), tanto preventiva como de reforzamiento (para los que padecieron ya la enfermedad) incluyendo además la investigación (ensayo clínico) que también resultan de interés electromédico (mantenimiento, reparación y ajuste de dichos instrumentos).

Contexto nacional

Se toma como referencia la fecha del 3 de octubre del año 1963, como el inicio del Servicio de Electromedicina Cubana, ya que en esta fecha se nacionalizaron varias compañías y parte del personal técnico pasó al Ministerio de Salud Pública, con el propósito fundamental de instalar, reparar y dar mantenimiento a los equipos médicos existentes en aquellos tiempos. En 1982 se crea la Red Nacional de Electromedicina con el objetivo de aumentar las potencialidades del Sistema de Nacional de Salud en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Como resultado del desarrollo tecnológico alcanzado por el equipamiento médico en los últimos años, la tecnología médica adquiere una relevancia importante y aumenta la responsabilidad de Electromedicina en la relación médico-tecnología-paciente debido la complejidad y el alto costo de los equipos, piezas de repuesto e insumos necesarios para garantizar la sostenibilidad de los equipos médicos, soporte necesario para los servicios médicos que se brindan a la población.[9]

La Red Nacional de electromedicina cuenta con:

- Un Centro Nacional de Electromedicina (CNE) el cual realiza las funciones Normativas, Metodológicas y Rector de la actividad de Electromedicina en todo el país).
- Un Taller Nacional que agrupa las especialidadaes de Metrología, Taller Olympus
- Dieciséis Centros Provinciales de Electromedicina (CPE), encargados de realizar la instalación, puesta en marcha, calibración, mantenimiento y reparación de los equipos médicos en todas las Unidades Asistenciales del Sistema Nacional de Salud.
- Veintiún Centros Territoriales subordinados a los CPE, donde realizan las mismas funciones de los CPE pero en territorios de mayor complejidad geográfica, dentro de la propia provincia.
- Ciento treinta y siete Grupos Técnicos de Electromedicina en los Municipios.
- Ciento cincuenta Grupos Técnicos en Hospitales.
- Especialidades: Audiología, Electromecánica, Electrónica Médica, Endoscopia, Esterilización, Estomatología, Imagenología, Informática, Laboratorio y Electroóptica, Metrología, Nefrología, Oftalmología, Óptica Tecnológica, Radioterapia, Sistema de Gases y Soporte de Vida.[9]

Tecnologías médicas, equipos y productos cubanos

En el enfrentamiento nacional a la pandemia de COVID-19, Cuba ha recurrido a décadas de impulso de la ciencia y ha hecho una apuesta por la soberanía científica y tecnológica. Las tecnologías médicas, equipos, accesorios y productos cubanos para el tratamiento y detección de la enfermedad son temas de actualidad. Se presenta en Cuba la necesidad de acometer desarrollos tecnológicos encontrándose entre estos: la producción de candidatos vacunales (Soberana 01, Soberana 02, Soberana Plus, Mambisa y Abdala), autorizados algunos de estos para uso de emergencia por el Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos (Cecmed).

Se realizó la segunda parte del estudio de intervención poblacional con Soberana 02 donde se vacunaron más de 70 000 trabajadores de la salud y la ciencia, proceso que se extiende a otros grupos poblacionales también.

En Cuba más de 90 000 personas participan en ensayos clínicos fase III. Se realizaron inicialmente estudios de intervención en La Habana, Santiago de Cuba, Granma y Guantánamo, para un total de 490 000, a lo que se unió un gran estudio de intervención poblacional en 1.7 millones de personas en La Habana, extendiéndose por estratos para todo el país.[10]

De cuatro laboratorios de biología molecular con que contaba al inicio de la pandemia, Cuba ha llegado a tener 22 en los meses transcurridos desde entonces, en un importante esfuerzo en términos de equipos, reactivos y capacitación. El objetivo es que cada provincia cuente con su laboratorio.[10]

Biología molecular para el diagnóstico

El embargo económico-financiero a que se encuentra sometida la nación, ha sido un acicate para desarrollar tecnologías y buscar soberanía tecnológica que permita seguir nuestro propio curso en la ciencia y en la salud. BioCubaFarma tiene una política y una estrategia hacia la soberanía tecnológica en la mayoría de sus esferas de acción. Existen programas de soberanía tecnológica en el desarrollo de medicamentos, de insumos médicos y de las

piezas de repuesto necesarias para la industria farmacéutica, así como en la esfera de los equipos médicos. En cuanto al desarrollo de equipos médicos, participan prácticamente todas las instituciones de BioCubaFarma y otras de diversos ministerios, además de universidades y centros de investigación.[11]

El Centro de Inmunoensayo (CIE) ha logrado instalar en el país durante estos años más de 2 000 equipos y 169 laboratorios municipales con la tecnología Sistema Ultramicroanálitico (SUMA), así como 395 exportados y funcionando en el exterior, que han realizado estudios a más de 200 millones de personas, incluidos 48 millones de niños, en Cuba y otras naciones. La biología molecular se aplica en la microbiología para el diagnóstico de virus y bacterias, y se utiliza en la medicina de precisión, en cáncer, en el estudio de las enfermedades genéticas, en la determinación de la resistencia de las bacterias a los antibióticos o en la susceptibilidad de las personas a reaccionar a un antibiótico. Igualmente, en medicina legal, en antropología y en muchas otras áreas.[11]

El programa de soberanía tecnológica en la biología molecular para el diagnóstico de la COVID-19 ha implicado una inversión importante. Incluye soberanía tecnológica desde la toma de la muestra con el hisopo que se introduce en la nariz de las personas, hasta el análisis matemático y la informatización de los resultados. O sea, abarca toda la cadena de eventos que conducen al diagnóstico de pacientes con COVID-19, y también es aplicable en otras enfermedades infecciosas y bacterianas.[11]

En el inicio de la pandemia, no eran muchos los lugares en el mundo donde se producían estos exámenes de reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés) y era difícil conseguir los kits. Los países grandes y ricos eran los que tenían preferencia para la obtención de las pruebas de diagnóstico, y resultaba difícil el acceso. Además, es una inversión grande, por costosa. Es vital lograr soberanía en este contexto de la COVID-19 y, a la vez, estar preparados para otros eventos posibles en el futuro con un sistema propio. En lo que era hasta el 20 de noviembre de 2020 una instalación sin uso, prácticamente abandonada, el Centro de Neurociencias de Cuba (Cneuro) construyó e instaló una planta de insumos médicos, con una línea de fabricación automática de hisopos, que está en condiciones de garantizar necesidades nacionales de 30 000 hisopos diarios, la cantidad necesaria para las 30 000 pruebas previstas, y además incluye una fábrica de mascarillas. Tras tomar la muestra en la nariz del paciente, se debe transportar hasta el laboratorio, pero el virus se puede estropear por el camino y por eso hay que hacerlo en un medio especial (medio de transporte), el cual ha sido desarrollado por el Centro de Biopreparados (Biocen), otra de las instituciones de BioCubaFarma. Biocen produce unas 20 000 unidades diarias, pero va camino a las 30 000 pruebas necesarias de biología molecular diarias previstas por el país.[11]

Se gestiona la importación de una máquina que posibilitará un formato final más seguro para la transportación de las muestras con unos tubos especiales.

Además, se trabaja en un nuevo medio de transporte de muestras que inactiva el virus (llega útil para el diagnóstico, pero inactivo desde el punto de vista biológico), lo que propicia una disminución importante del riesgo biológico del personal que trabaja en los laboratorios.[11]

El paso siguiente en el proceso es extraer el ácido ribonucleico (ARN) del virus, lo que identifica al SARS-CoV-2. Para ello se usa un procedimiento con unas perlas magnéticas, muy costosas, que inicialmente se debían importar. El Centro de Estudios Avanzados (CEA) ha desarrollado perlas magnéticas con mucha eficiencia, y ya es capaz de producir las 20 000 unidades diarias que se están consumiendo, y van a llegar a las 30 000 previstas, ahorrándose por este concepto más de cuatro millones de dólares que hubiera requerido la importación de ese sistema de extracción. El paso siguiente en este proceso es extraer con ese medio que fabrica el CEA el material del virus para hacer la prueba de PCR. Para eso, el Centro de Inmunoensayo (CIE) trabaja en el desarrollo del extractor de ácido desoxirribonucleico (ADN) y ARN. Es un equipo muy complejo, con varias posiciones, y trabaja automáticamente, tiene unas barras magnéticas que captan las partículas y realizan una serie de procedimientos que permiten purificar el ARN, para hacer el paso siguiente, que es el PCR en tiempo real. Se desarrolla por el Centro de Inmunoensayo (CIM) y el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB). Para esto son necesarios unos reactivos químicos que se denominan sondas e iniciadores, usados para identificar la partícula del virus, y unas enzimas que amplían la reacción y permiten la detección por los equipos.[11]

El Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), ha trabajado y ya se desarrollaron con éxito los primeros reactivos, y se está trabajando en la producción y purificación de las dos enzimas necesarias. Lo anterior lleva al consumo de dispositivos plásticos, que se usan y se desechan. Para eso, Combiomed ha trabajado, primero, en buscar una fuente de suministros más accesibles a nuestra economía que la fuente que teníamos hasta ahora.[11]

Cuando se habla de soberanía tecnológica en biología molecular, se habla de tener soberanía tecnológica para la COVID-19 y también para todas las demás pruebas que haya que desarrollar en esta tecnología de biología molecular.

Ventiladores pulmonares y otros desarrollos

El Cneuro trabajó en tres proyectos, parte de una estrategia. El primero fue el Pcuvente (ventilador invasivo), autorizado hasta ahora para recuperación postoperatoria. Es un equipo que se desarrolló en menos de un año y cooperaron muchas instituciones, incluidos el Centro de Investigación y Producción Grito de Baire, de la Unión de Industrias Militares, y la Sociedad Cubana de Bioingeniería. Hay, además, posibilidades de exportación. El proyecto para producir 250 ventiladores (entregados hasta la fecha 91 ventiladores, instalados 40 en 10 hospitales de La Habana, proyección a corto plazo de producir otros 25, y proyección a mediano plazo 134 más) Pcuvente ha estado financiado por la Unión Europea con participación de la Organización no gubernamental (ONG) “Movimiento Popular por la Paz, el Desarme y la Libertad”.[12]

Está aprobado para uso no directamente en COVID-19, que es la recuperación anestésica. Esta es la primera aplicación del Pcuvente. Se hacen las pruebas para la segunda indicación, que son las unidades de terapia de emergencia. Colaboraron BioCubaFarma, el Cecmed, el Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (Cenpalab) y Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (Cimeq), que ayudaron en las pruebas de estos equipos en animales de laboratorio. El Grupo Nacional de Tecnología Médica ayudó mucho. El diseño inicial es del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT). Se tomaron esos diseños, puestos en código abierto, y los ingenieros cubanos los adaptaron. Transcurren las pruebas de uso para ampliar la autorización de uso a las unidades de cuidados intensivos. En ejecución está un ensayo con una muestra mínima de 35 pacientes en los hospitales Miguel Enríquez, Militar Carlos J. Finlay, Calixto García y Enrique Cabrera.[12]

El Pcuvente está complementando a otro respirador, el Ventipap (ventilador de presión positiva continua en la vía aérea, no invasivo). En este caso, no hay que intubar al paciente, se coloca la máscara o un casco y se da una presión positiva continua y ayuda al paciente a respirar. El CIM ha hecho la parte mecánica y Cneuro ha trabajado en los sensores de oxígeno y electrónica. Es para pacientes menos graves. En los estudios se ha demostrado que hay un grupo de pacientes en los que, si se aplica esto, se evita llegar a la fase de intubación. Se están fabricando 250 unidades. Se recibió financiamiento de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Unión Europea. También este proyecto se benefició de la colaboración internacional, el *University College de Londres* puso su información en código abierto en internet, se contactó y se inició un intercambio con los creadores, adaptándolo a las condiciones y necesidades de Cuba.[12]

Uno de los problemas más serios en el cuidado de un paciente con distrés o insuficiencia respiratoria es evaluar el estado de funcionamiento pulmonar. Una forma es usando el equipo de tomografía axial, pero eso implica tener que mover la paciente, sacarlo de la terapia intensiva, incluso con riesgo de contaminación. Se estudió una variante, desarrollar un tomógrafo de impedancia eléctrica torácico. Este equipo, que se denomina Vigilvent y se desarrolla en conjunto con Combiomed, cuenta con una banda de electrodos en torno al pecho y permite visualizar de modo continuo la función pulmonar junto a la cama del paciente, y evaluar instantáneamente los efectos de cualquier maniobra terapéutica en la distribución de la ventilación regional. Usa una tecnología muy similar a la usada en la tomografía axial computarizada, pero, en lugar de rayos X, con señales de impedancia eléctrica. Es mucho más económico y de uso más difundido, y puede estar permanentemente junto a la cama de los pacientes más graves. Es un elemento diagnóstico que se incorpora. Se trabaja para empezar a hacer el registro y producir varias unidades. Actualmente, el equipo está en ensayo en humanos.[12]

Estos elementos van a tener un valor

post-COVID-19, pues son parte de una estrategia del Minsap para perfeccionar y ampliar todos los servicios de terapia intensiva del país, con la idea de crear una mejor respuesta a cualquier pandemia que pueda venir o a otras enfermedades.

Equipos de soporte vital y apoyo al diagnóstico

La génesis de la Combiomed se puede describir en síntesis de la siguiente manera: el Centro de Investigaciones Digitales (CID), luego ICID y hoy Combiomed (fundado en 1969 subordinado a la Universidad de La Habana) tuvo como primer objetivo desarrollar la primera computadora digital en Cuba (CIC 201), en 1970. Durante la década de los setenta y hasta mediados de los ochenta, la empresa se dedicó al desarrollo de microcomputadoras, minicomputadoras y bioterminales. Luego se vinculó al grupo de neurofisiología del Centro de Neurociencias de Cuba (Cneuro) y apoyó el diseño y producción del equipo médico Medicid. En 1985, introdujo el primer equipo médico propio, vinculado a la cardiología, el Cardiocid PC, y poco después le seguirían otros equipos médicos, entre ellos los Neurocid y Neuronica, en los que colaboraban el ICID y Cneuro. En 1988 se produce el primer pedido de equipos médicos (20 Neurocid, 10 Medicid, 20 Cardiocid y 12 Neuronica).[13]

Después de comenzar por la cardiología (diagnóstico y rehabilitación cardiovascular), en 1985, las líneas fundamentales de trabajo de Combiomed han estado vinculadas con la monitorización de pacientes y soporte de vida (desde 1995), la estimulación eléctrica, el diagnóstico de enfermedades respiratorias crónicas y las soluciones para la atención primera de salud. En total, en los últimos 15 años ha introducido más de 27 000 equipos en el sistema de salud, con predominio de los dedicados al diagnóstico cardiovascular y, en segundo lugar, a la monitorización de pacientes y el soporte de vida. En estas décadas, la empresa ha estado vinculada con varios programas del Minsap: atención al paciente grave, actividad quirúrgica, materno infantil, diagnóstico cardiovascular y soluciones para la atención primera de salud.[13]

La presencia de toda esa tecnología cubana en las distintas instituciones de salud del país contribuyó e hizo posible la respuesta a la pandemia, desde marzo de 2020, y a la sostenibilidad de los cuidados intensivos y progresivos que requieren los pacientes, algunos de ellos durante estadías prolongadas. Esa tecnología está relacionada con líneas de ayuda al paciente crítico, monitorización, oximetría, desfibriladores, bombas de fusión, bombas de jeringa, entre otros.

Además, en el contexto del enfrentamiento a la pandemia, las principales actividades de Combiomed se han vinculado a la reparación de ventiladores pulmonares de altas prestaciones (más de 90 reparaciones en tres meses, en conjunto con otras entidades de BioCubaFarma, el Ministerio de Industrias, la Unión de Industrias Militares, el Ministerio de Educación Superior y el Centro Nacional de Electromedicina).

Otra actividad han sido los servicios de instalación, reparación y mantenimiento de la tecnología médica de soporte vital y de apoyo al diagnóstico que ha producido la propia Combiomed para el sistema de salud.[13] Se han registrado en el país más de 1 570 reportes de reparaciones (oxímetros de pulso -Oxy 9800 y AE-; monitores de paciente- Doctus, modelos del IV al VIII-), instalaciones o mantenimientos.[13] En eso tiene un rol importante el grupo de asistencia técnica de Combiomed.

No se ha detenido el suministro de equipos, mayormente vinculados a la monitorización y al soporte de vida en UCI, y también de equipos de apoyo al diagnóstico para centros de aislamiento y unidades de atención primaria de salud, así como kits de varios equipos de apoyo al diagnóstico para los ensayos y estudios de los candidatos vacunales cubanos contra la COVID-19 (más de 3 800 equipos y dispositivos).[13]

Combiomed inició el diseño de un ventilador pulmonar de altas prestaciones (para cuidados intensivos y pacientes adultos; es el equipo más complejo que ha desarrollado en todo estos años, por los estándares, fiabilidad y seguridad que requieren, desde el punto de vista del diseño eléctrico y mecánico, y el software). Tuvo el acompañamiento del Cecmed desde la parte regulatoria durante el desarrollo e introducción de estos dispositivos.

Los desafíos son el desarrollo del modelo de ventilador de altas prestaciones para pacientes pediátricos, incluidos neonatos, y el desarrollo de una máquina de anestesia con diseño totalmente cubano.

En conjunto con otras empresas de

BioCubaFarma y de la industria nacional, Combiomed planea montar tres líneas para la fabricación de jeringuillas, elementos plásticos de pruebas de PCR y mascarillas.[13]

Automática y electrónica

A partir de planos divulgados en código abierto, se comenzaron a construir las piezas de un equipo de ventilación mecánica asistida (ventilador pulmonar) y se formó un equipo multidisciplinario, con los compañeros de electromedicina, médicos intensivistas de varios hospitales, estudiantes y profesores de universidades, fundamentalmente de la Cujae; ingenieros de varias entidades. Un equipo con un grupo de prestaciones, con control de frecuencia de ventilación, regulación de los tiempos de inspiración, pausa y expiración; regula y controla la presión positiva al final de la carrera de expedición del paciente (con una válvula que se comenzó a construir en Cuba con impresora 3D); se hizo el tratamiento de imagen, más profesional, y se propuso hacer un equipo de ventilación mecánica asistido, que interactúa con el paciente, entrega o retira en función del comportamiento del paciente. Se están desarrollando cinco equipos para certificarlos: dos van al laboratorio de tropicalización, y los otros al Cecmed, hasta llegar a la prueba con animales. Existe capacidad instalada en los combinados de equipos médicos en La Habana y en Santiago de Cuba.[14]

Se hizo la inversión de un centro de desarrollo de la electrónica y la automática aplicada dentro del "Grupo de la Electrónica".

Entre los productos logrados están una lámpara de desinfección ultravioleta, con un segundo modelo robotizado pensado para salones de cirugía, ya certificada por el Cecmed e insertada en la línea de producción de la empresa de equipos médicos en La Habana; un dispensador de gel antibacteriano automático, listo para producción industrial, y una incubadora neonatal. Además, un concentrador de oxígeno, impresora 3D, termómetros corporales, medios de protección, las retapas plásticas para los medios de transporte de pruebas que hace Biocen, y una máquina de electrólisis de hipoclorito de sodio.[14]

Finalmente un grupo de científicos cubanos desarrollan el diagnosticador Sistema Ultramicroanálitico (SUMA) Umelisa SARS CoV-2 IgG antígeno, para la detección de la proteína "N" del SARS CoV-2.[15]

El proceder fue desarrollado por el Centro de Inmunoensayo (CIE), adscrito al grupo empresarial BioCubaFarma, y validado por el Instituto de Medicina Tropical Pedro Kouri, en La Habana.

El ensayo permite detectar anticuerpos tipo IgG como el que más abunda en el organismo y está presente en la sangre y en otros fluidos corporales, sin descartar otros análisis de laboratorio e investigaciones epidemiológicas a fin de conocer el grado de exposición al virus por grupos poblacionales. Con cada placa empleada se pueden estudiar entre 400 y 450 muestras en la búsqueda de anticuerpos contra el coronavirus Sars-Cov-2, y según fuentes pudiera también incluir a individuos supuestamente sanos para conocer si son portadores o han padecido la enfermedad.[16]

Es un ensayo capaz de detectar anticuerpos tipo IgG en muestras de suero o plasma, y para ello emplea péptidos sintéticos de regiones inmunodominantes del virus (son segmentos de las proteínas del virus sobre los cuales se desarrolla la respuesta inmune de la persona infectada). Dichos fragmentos fueron sintetizados por científicos del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB). El sistema tiene la ventaja de poder aplicarse en pesquisajes masivos de la enfermedad, unido a los resultados de otras pruebas de laboratorio, además de poder emprender estudios epidemiológicos dirigidos a conocer el grado de exposición al virus que ha tenido determinado grupo poblacional. Los ensayos tipo ELISA (acrónimo del inglés *Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay*: «ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas») se basan en la reacción antígeno-anticuerpo, simulando en el laboratorio lo que ocurre en el organismo, cuando es invadido por un agente extraño. Esta reacción es amplificada por la presencia de una enzima, lo cual nos permite detectar si la reacción ha tenido lugar o no. Dicho proceder tiene amplio uso a nivel mundial para el diagnóstico de diversas patologías y el aporte cubano a esta técnica de diagnóstico es, precisamente, realizarla con muy pequeños volúmenes de reactivos y muestras (Sistema Ultra Micro Analítico, suma). El nuevo ensayo utiliza plasma, por tanto requiere realizar una extracción de sangre, demora alrededor de dos horas para obtener el resultado, y con cada placa se pueden estudiar decenas de personas de una sola vez, buscando la presencia de anticuerpos contra el nuevo coronavirus. No requiere de ninguna preparación previa del

paciente y los resultados se validan, procesan y expresan de manera automatizada; asimismo, se recomienda su uso a partir del séptimo día de inicio de los síntomas.[17]

La tecnología suma se desarrolló a inicios de la década de los 80 del pasado siglo por un grupo de investigadores; es una tecnología ciento por ciento cubana y al emplear pequeños volúmenes de muestras y reactivos, resulta económicamente sustentable, características de gran utilidad para una circunstancia como la que se enfrenta con la COVID-19. La tecnología suma también ha sido clave en el diagnóstico precoz del hipotiroidismo congénito a todos los infantes cubanos nacidos después de 1986, así como en los programas de vigilancia epidemiológica, la certificación de sangre y órganos para trasplantes, además del control de enfermedades crónicas. De manera especial, ha contribuido a la reducción sostenida de la tasa de mortalidad infantil, al control de la transmisión de la hepatitis B y C, el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH, es un lentivirus, subgrupo de los retrovirus, que causa la infección y con el tiempo el síndrome de inmunodeficiencia adquirida, sida) y del dengue. Igualmente, resultó decisiva para que Cuba fuera declarada en 2015 libre de la transmisión materno-infantil del VIH y la sífilis congénita. Actualmente existen 232 laboratorios con tecnología suma distribuidos a lo largo y ancho del país.[17]

Es de gran importancia para el país poder contar con una prueba cubana con soberanía tecnológica, que disminuye los costos y puede realizarse en la amplia red de laboratorios de la tecnología suma existente en la nación.

Nuevos productos cubanos como respuesta ante la COVID-19

Nuevos productos, ensayos clínicos e incremento de la capacidad de procesamiento se destacan en la respuesta del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) ante la COVID-19. Entre ellos se pueden mencionar la elaboración de jabón de aceite de girasol ozonizado, solución hidroalcohólica con oleozon, el oleozon propiamente dicho que disminuye la carga viral, antiagregante plaquetario (antecedente en Cuba, relacionado con ictus isquémicos, con una recuperación más rápida y menos recurrencia en los afectados), suplementos nutritivos, como tabletas de moringa y anamú y un producto con propóleo, como aporte contra el virus.[18]

Detrás de todos estos desarrollos tecnológicos (ensayos clínicos, fabricación de vacunas, productos de higienización, kits de diagnóstico, transportación especializada, etc.) siempre está presente la obra anónima de los ingenieros biomédicos y electromédicos, licenciados y técnicos en electromedicina.

Solidaridad en tiempos de pandemia

La propagación de la COVID-19 está afectando la sociedad y economía en todo el mundo, lo cual obliga a toda la comunidad internacional a unirse y solidarizarse en su lucha contra este patógeno.

En Cuba son tangibles las acciones desarrolladas por múltiples organizaciones entre las que se destacan Confederación General Italiana del Trabajo (CGIL); Agencia para el Intercambio Cultural y Económico con Cuba (Aicec); Coordinadora Nacional de Cubanos Residentes en este país (Conaci); Asociación Nacional de Amistad Italia-Cuba (Anaic); Gobierno regional de Piamonte; Comunidad de San Egidio; Asociación La Villeta por Cuba; Plataforma Articulada para el Desarrollo Integral Territorial del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo; Asociación Recreativa y Cultural Italiana de Umbría; Nuestra América-Capítulo Italiano de la Red en Defensa de la Humanidad; organización juvenil Cambiando de Ruta; Proyecto Puentes de Amor. El donativo está compuesto por fármacos, equipos y material médico y cuyo valor estimado es de alrededor de un millón y medio de euros, destinado, fundamentalmente, a centros hospitalarios de La Habana, Matanzas, Holguín, Cienfuegos, Santiago de Cuba, Guantánamo y Ciego de Ávila.[19]

De igual forma, OPS/OMS envía a Cuba un donativo integrado por 10 kits de emergencias en salud, cada uno de los cuales incluye dos módulos: básico y suplementario. El módulo básico está previsto para atender los cuidados de unas 1 000 personas en la atención primaria de salud, durante aproximadamente tres meses en períodos de emergencia; mientras que el módulo suplementario está preparado para cubrir determinados cuidados en la atención primaria de salud y el ámbito hospitalario, en una población de hasta 10 000 pacientes. Ambos contienen medicamentos orales y tópicos, así como dispositivos médicos.[20]

Por otro lado, Cuba y Japón suscribieron un Canje de Notas para llevar a cabo una asistencia financiera de carácter humanitario mediante la

donación de equipos médicos por un monto de 500 millones de yenes japoneses (US$ 4,7 millones aproximadamente) en el marco de la Cooperación Financiera No Reembolsable del Gobierno japonés.(21) También la Federación de Rusia traslada a La Habana cuatro vuelos con donativos que contienen ventiladores pulmonares, equipos médicos y medicamentos.(22)

La Asociación "Juan Gualberto Gómez" de Cubanos Residentes en Toronto, NJT *Toronto, Paul's Transport Inc*, *Calea LTD*, Plaza de la Dignidad Montreal, *Hope and Healing*, Cuba Canada *Friendship Association, Morteza Gorgzade, Medical Supplies Inc., Norman Karkada* y los doctores Pedro y Kenia Mateus, José Orozco, Tania y Alessandro Capano, realizan una donación de equipamiento e insumos médicos, valorada en 586 mil 323 dólares canadienses.(23)

La República Popular China envía un donativo a Cuba de equipos de alta tecnología compuesto por cinco ventiladores pulmonares de altas prestaciones ChenWei Cwh-3010 y 80 concentradores de oxígeno para la atención a pacientes positivos en coronavirus, el equipo de PCR en tiempo real que permite acelerar el procesamiento de las muestras y eleva la capacidad de diagnóstico, biosensor de antígenos que beneficiaron a instalaciones hospitalarias de Ciego de Ávila.(24)

Contexto local

La provincia de Cienfuegos cuenta con 72 unidades en su sistema de salud; 35 que corresponden a las unidades de asistencia médica y 37 a las unidades de asistencia social.(25)

En abril de 1961 se crea por la Dirección Regional de Salud de la antigua provincia de Las Villas, un taller de mantenimientos para atender con servicios técnicos los equipos del sector salud en el territorio sureño. Con la nueva división político-administrativa del país en 1976, pasa a ser Taller Provincial (Cienfuegos deja de ser región). Ya en julio de 1986 se inaugura el Centro Provincial de Servicios Técnicos de Electromedicina y en 2014, mediante resolución 492 cambia la denominación y aparece como Centro de Ingeniería Clínica y Electromedicina (CICEM).[a]

El centro cuenta con un capital humano de 175 trabajadores (operarios: 49; técnicos: 83; administrativos: 1; servicios: 29; dirigentes: 13); de ellos 77 son mujeres lo que representa el 44,0 %. Cuentan con la colaboración de 37 técnicos que laboran en las diferentes áreas de salud del territorio (28 distribuidos en 7 municipios y 9 en las áreas del municipio cabecera). [b]

Con el desarrollo de innovaciones, racionalizaciones y soluciones técnicas a través de la ANIR, en el centro se han logrado importantes efectos económicos, lograron 252 921. 48 CUP en el año 2002, este es el más relevante.[a] A pesar de la carencia de recursos, este centro, continúa reparando y aplicando mantenimiento a los equipos médicos y no médicos que inciden en los procesos de diagnóstico, tratamiento, curación y rehabilitación de pacientes del territorio cienfueguero sin perder la calidad. Equipos que estaban en desuso por alguna afectación fueron rescatados, además de instalar los nuevos equipos.

El Dpto. de Metrología del CNE a pesar de la difícil situación epidemiológica de la provincia, efectuó en mayo de 2021 una supervisión metrológica con el servicio de calibración incluido cuyo resultado fue: de 187 instrumentos evaluados (monitor multiparamétrico, centrífuga de mesa, electrocardiógrafo, oxímetro de pulso y desfibrilador), 162 resultaron aptos para el uso, de lo que se infiere que el 13,4 % de estos instrumentos fueron declarados no aptos para el uso.[c] La reparación y ajuste de estos equipos para devolverles sus propiedades técnicas y metrológicas ha sido enfrentada por el personal técnico del CICEM de Cienfuegos, con iniciativa, ingenio e innovación. Como proyección estratégica se trabaja actualmente para la implementación y certificación de un Sistema de Gestión Integrado (SGI, calidad-recursos humanos-medio ambiente) en el CICEM, así como para la acreditación de un laboratorio de calibración (ya se entrenó el personal y cuentan con dos patrones digitales de calibración de esfigmomanómetros -uno *Biomedical Calibrated* FLUKE DPM 1B *pneumatic transducer tester* y el otro *Pressure calibrator* FLUKE 717 30 G-) que como línea principal tendrá la magnitud presión (específicamente para los tensiómetros y/o esfigmomanómetros). Se gestionó la adquisición de patrones para la calibración de instrumentos tales como monitor multiparamétrico, electrocardiógrafo, oxímetro de pulso, desfibrilador y centrífuga de mesa.[b] Desafortunadamente, el patrón para este último equipo fue asignado a la provincia de Sancti Espíritus.

Retos

La interacción de elementos como la solidaridad con Cuba de organizaciones y gobiernos fraternales que envían donativos de emergencia, la puesta de información en código abierto en internet por parte de los creadores de diferentes desarrollos tecnológicos en el mundo, la posibilidad de intercambio científico entre las naciones, unido al uso racional e inteligente de los escasos recursos (condición *Sine qua non* para los expertos cubanos en la praxis, debido al legendario embargo que padece el país) ha hecho posible que Cuba enfrente la pandemia de COVID-19 con protocolos adaptados a las condiciones y necesidades propias. Se espera que a finales del 2021 los resultados del proceso de vacunación de la población en Cuba alcance cifras alentadoras y eficaces, que los esfuerzos por alcanzar soberanía tecnológica en salud continúen materializándose, sustentado todo esto sobre bases sólidas perdurables en el tiempo.

[a] Centro de Ingeniería Clínica y Electromedicina. Cronología histórica de electromedicina en la provincia de Cienfuegos. Cienfuegos: CICEM; 2020.

[b] Centro de Ingeniería Clínica y Electromedicina. Registro de fuerza de trabajo. Cienfuegos: CICEM; 2020.

[c] Universidad Ciencias Médicas de Cienfuegos. Informe provincial del Área de Metrología. Dirección de Ciencia e Innovación tecnológica. 2021, junio. p. 2-6.

COMENTARIO FINAL

En las organizaciones de salud es necesario un cambio conceptual acerca del importante papel que juega la rama biomédica, su influencia e impacto en los procesos de las unidades, sean asistenciales o no. Los ingenieros biomédicos y electromédicos, así como los licenciados y técnicos en electromedicina, merecen un adecuado reconocimiento ante la comunidad científica por sus tangibles logros en tiempos de Covid-19. Ellos también salvan vidas.

Conflicto de intereses

Los autores plantean que no existen conflictos de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización de ideas: Ernesto José López González, Yolanda Cabrera Macías, Marle Pérez de Armas, Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez, Ernesto López Cabrera.

Visualización: Ernesto López Cabrera.

Redacción del borrador original: Ernesto José López González, Yolanda Cabrera Macías.

Redacción, revisión y edición: Marle Pérez de Armas, Tatiana de las Mercedes Escoriza Martínez.

Financiamiento

Universidad de Ciencias Médicas de Cienfuegos. Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sáenz M, Pérez N. La biomecánica más avanzada se apoya en una metrología de calidad. e-medida. Revista Española de Metrología [revista en Internet]. 2013 [cited 4 May 2020] ; 2 (5): [aprox. 9p]. Available from: https://www.e-medida.es/numero-5/la-biomecanica-mas-avanzada-se-apoya-en-una-metrologia-de-calidad/.

2. Sáenz MA, López MT, Pérez N, Palancar-Martínez D. Hacia un diagnóstico fiable: metrología sanitaria. Tesla. 2018 (10): 66-71.

3. Munster JV, Koopmans M, van Doremal N, van Riel D, de Wit E. A Novel Coronavirus Emerging in China, Key Questions for Impact Assessment. N Engl J Med. 2020 ; 382: 692-4.

4. Organización Mundial de la Salud. COVID-19: cronología de la actuación de la OMS [Internet]. Ginebra: WHO; 2020. [cited 2 Oct 2021] Available from: https://www.who.int/es/news-room/detail/27-04-2020-who-timeline---covid-19.

5. Birmingham City University. Biomedical Engineers: The hidden heroes of the COVID-19

crisis! [Internet]. Birmingham: Birmingham City University; 2020. [cited 5 Oct 2021] Available from: https://www.bcu.ac.uk/health-sciences/about-us/school-blog/biomedical-engineers-the-hidden-heroes-of-the-covid-19-crisis.

6. Florida State University. How chemical and biomedical engineers help the fight against coronavirus [Internet]. Tallahassee: Florida State University; 2020. [cited 2 Oct 2021] Available from: https://news.fsu.edu/news/expert-pitches/2020/04/06/fsu-experts-explain-how-chemical-and-biomedical-engineers-help-the-fight-against-coronavirus/.

7. Campos DU. La necesidad de ingenieros biomédicos ante la COVID- 19. Divulgando. 2020 ; 248: 32-3.

8. Organización Mundial de la Salud. Equipo biomédico para manejar los casos de COVID-19: herramienta de inventario. Módulos armonizados para evaluar los establecimientos de salud en el contexto de la pandemia de COVID-19. Orientaciones provisionales [Internet]. Ginebra: OMS; 2020. [cited 3 Oct 2021] Available from: https://apps.who.int/iris/handle/10665/333439.

9. Centro Nacional de Electromedicina. Breve reseña histórica [Internet]. La Habana: CNICM; 2021. [cited 1 Oct 2021] Available from: https://instituciones.sld.cu/electromedicina/nosotros/.

10. Cubadebate. Tecnologías médicas, equipos y productos cubanos en el enfrentamiento a la COVID-19 [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://cuba.cu/salud/2021-03-26/tecnologias-medicas-equipos-y-productos-cubanos-en-el-enfrentamiento-a-la-covid-19-/55294.

11. Fernández JL. Un sistema propio de biología molecular para el diagnóstico [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://cuba.cu/salud/2021-03-26/tecnologias-medicas-equipos-y-productos-cubanos-en-el-enfrentamiento-a-la-covid-19-/55294.

12. Valdés, M. Ventiladores pulmonares y otros desarrollos en Cneuro [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://cuba.cu/salud/2021-03-26/tecnologias-medicas-equipos-y-productos-cubanos-en-el-enfrentamiento-a-la-covid-19-/55294.

13. Lesmes A. Combioned: Equipos de soporte vital y apoyo al diagnóstico [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://cuba.cu/salud/2021-03-26/tecnologias-medicas-equipos-y-productos-cubanos-en-el-enfrentamiento-a-la-covid-19-/55294.

14. de la O V. Automática y electrónica aplicadas a las necesidades del país [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://cuba.cu/salud/2021-03-26/tecnologias-medicas-equipos-y-productos-cubanos-en-el-enfrentamiento-a-la-covid-19-/55294.

15. Peláez O. Tecnología SUMA: una muestra de soberanía tecnológica. Granma [Internet]. 2021 [cited 2 Oct 2021] Available from: http://www.granma.cu/cuba-covid-19/2020-05-13/tecnologia-suma-una-muestra-de-soberania-tecnologica-13-05-2020-23-05-11.

16. Sánchez ML. Aplican nuevo diagnosticador ante Covid-19 al centro de Cuba. Prensa Latina [Internet]. 2020 [cited 2 Oct 2021] Available from: https://www.prensa-latina.cu/index.php?o=rn&id=460923.

17. Carlos NM. Umelisa SARS COV-2 IgG: el novedoso sistema cubano para el diagnóstico de la COVID-19. Prensa Latina [revista en Internet]. 2020 [cited 2 Oct 2021] Available from: http://www.acn.cu/salud/64713-umelisa-sars-cov-2-igg-el-novedoso-sistema-cubano-para-el-diagnostico-de-la-covid-19.

18. Alfonso J. Soluciones y novedades: científicos cubanos ante la COVID-19. Trabajadores [Internet]. 2020 [cited 2 Oct 2021] Available from: http://www.trabajadores.cu/20200609/centro-de-inmunoensayo-dota-a-cuba-de-diagnosticador-efectivo-y-de-alto-alcance-para-la-covid-19/.

19. Fuentes T. Arriba a Cuba donativo de insumos médicos desde Italia [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://www.cuba.cu/salud/2021-08-26/arriba-a-cuba-donativo-de-insumos-medicos-desde-italia/57148.

20. Organización Panamericana de la Salud. Hospitales de cinco provincias cubanas recibirán la donación de un kit con insumos para

emergencias en salud [Internet]. Washington: OPS; 2021. [cited 5 Oct 2021] Available from: https://www.paho.org/es/noticias/24-3-2021-hospitales-cinco-provincias-cubanas-recibiran-donacion-kit-con-insumos-para.

21. Rivas D. Japón donará a Cuba equipos médicos para contribuir al enfrentamiento de la COVID-19 [Internet]. La Habana: UCI; 2020. [cited 2 Oct 2021] Available from: http://www.cubadebate.cu/noticias/2020/09/16/japon-donara-a-cuba-equipos-medicos-para-contribuir-al-enfrentamiento-de-la-covid-19/.

22. Kosenkova A. Arribó a La Habana un cuarto vuelo con donativos médicos desde Rusia. Granma [Internet]. 2021 [cited 3 Oct 2021] Available from: http://www.granma.cu/cuba/2021-08-14/arribo-a-la-habana-un-cuarto-vuelo-con-donativos-medicos-desde-rusia-14-08-2021-00-08-33.

23. Agencia Cubana de Noticias. Llega a Cuba donación de equipos e insumos médicos procedente de Canadá [Internet]. La Habana: UCI; 2021. [cited 12 Oct 2021] Available from: http://www.cubadebate.cu/noticias/2021/02/03/llega-a-cuba-donacion-de-equipos-e-insumos-medicos-procedente-de-canada/.

24. Portal JA. Recibe Ciego de Ávila equipamiento médico contra la COVID-19 [Internet]. La Habana: CITMA; 2021. [cited 2 Oct 2021] Available from: https://www.citma.gob.cu/recibe-ciego-de-avila-equipamiento-medico-contra-la-covid-19/.

25. Ministerio de Salud Pública. Anuario Estadístico de Salud 2015 [Internet]. La Habana: Departamento de Registro Médicos y Estadísticas de Salud; 2016. [cited 12 Oct 2021] Available from: https://salud.msp.gob.cu/wp-content/Anuario/anuario_2015.pdf.