

Capítulo XIII

La importancia de la ingeniería biomédica en el mundo moderno: una mirada postpandemia COVID-19 y los retos de la transcomplejidad

Rodrigo Elías Salazar Lazo
Rubén Jaime Torres Cortez
Lessner Augusto León Espinoza
Enrique Juan Solgorre Contreras
Keith Cindy Loayza Peñafiel

Resumen

El presente estudio tiene por objetivo evaluar los avances en ingeniería biomédica durante la crisis sanitaria y segmentar en líneas temáticas y reflexionar acerca de la influencia de los hallazgos en ingeniería biomédica en el afrontamiento de la sociedad en el periodo post pandémico. Se siguió el método de revisión crítica y sistematizada con base a los estándares PRISMA en bases de datos Scopus y WoS para la elaboración de mapas de estructuras conceptuales y mapas temáticos. Se identificaron 1733 artículos científicos, 1400 artículos científicos con eliminación de 624 por criterios de inclusión y exclusión, con una muestra final de 758 manuscritos. Se identificó como categorías temáticas: (a) Avances tecnológicos en sistemas de clasificación y diagnóstico de COVID-19, (b) Análisis etiopatogénico para la obtención de un tratamiento eficaz contra los efectos mortales del COVID-19, y (c) Sistemas tecnológicos para la prevención de los efectos del COVID-19. En los temas emergentes se destaca la neumonía vírica, efectos de aislamiento y purificación de ambientes cerrados. Se destaca la implicancia de los hallazgos en la formulación de políticas de salud pública para el diagnóstico, detección y prevención de la pandemia, así como conducción de estudios para brindar respuesta a los vacíos de conocimiento.

Palabras clave: ingeniería biomédica, revisión sistemática, post pandemia.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the advances in biomedical engineering during the health crisis and segment into thematic lines and reflect on the influence of the findings in biomedical engineering in coping with society in the post-pandemic period. The critical and systematized review method was followed based on the PRISMA standards in Scopus and WoS databases for the elaboration of maps of conceptual structures and thematic maps. 1733 scientific articles were identified, 1400 scientific articles with elimination of 624 due to inclusion and exclusion criteria, with a final sample of 758 manuscripts. Thematic categories were identified: (a) Technological advances in classification and diagnostic systems for COVID-19, (b) Etiopathogenic analysis to obtain effective treatment against the deadly effects of COVID-19, and (c) Technological systems for preventing the effects of COVID-19. Among the emerging topics, viral pneumonia, effects of isolation and purification of closed environments stand out. The implication of the findings in the formulation of public health policies for the diagnosis, detection and prevention of the pandemic is highlighted, as well as conducting studies to provide a response to knowledge gaps.

Key words: biomedical engineering, systematic review, post pandemic.

Introducción

El nuevo escenario causado por la pandemia por COVID-19 ha estimulado un cambio estructural en todos los ámbitos de desenvolvimiento de los seres humanos, sin embargo, las disciplinas con base en la ciencia y tecnología han suscitado mayor interés en el mundo debido a la capacidad de integrar sus avances para obtener una respuesta rápida y eficiente para atenuar los efectos nocivos de la crisis sanitaria (Carvalho, 2020). Entre las disciplinas que más han destacado por su avance son las ciencias de la salud dado que se han cimentado en primera línea para mitigar y ralentizar el avance de los contagios en la humanidad, en conjunto con los avances tecnológicos han permitido contener parcialmente la pandemia y guiar la toma de decisiones en políticas de inversión de los países del mundo (Sánchez y Rojas, 2020).

Los avances científicos para establecer una respuesta oportuna a la crisis pandémica se han focalizado en ocho campos de conocimiento diferenciados (Albornoz et al, 2021):

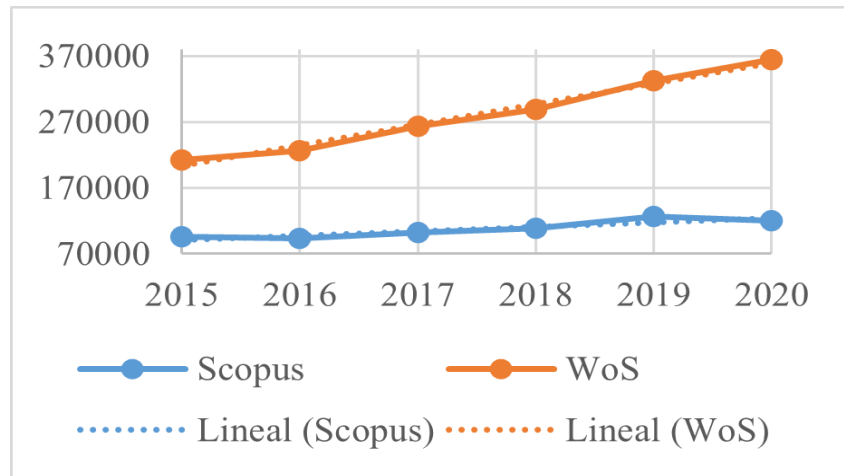
- (a) Investigación básica: dirigidas a incrementar el conocimiento de la etiología del virus sars-cov 2.
- (b) Epidemiología: estudios para describir y comprender cuáles son los medios de contagio y transmisión del virus.
- (c) Salud pública y gestión clínica: lineamientos destinados a proporcionar esquemas de respuestas sanitarias eficientes.
- (d) Diagnóstico: avances en el desarrollo de instrumentos para la identificación de pacientes infectados.
- (e) Terapéutica: estudios que tienen por objetivo elaborar y comprobar tratamientos para pacientes infectados, principalmente acerca de farmacéuticos para contener rápidamente los efectos mortales del virus.
- (f) Vacunas: desarrollo de fármacos de empresa química con laboratorios de producción masiva.

- (g) Tecnologías: estudios de comprobación dirigidos a desarrollo de indumentaria de protección, sistemas de monitoreo y preservación de fármacos.
- (h) Respuestas sociales: investigaciones dirigidas hacia la caracterización de las respuestas comunitarias frente a las medidas de restricción por la pandemia.

En el panorama derivado de la pandemia por COVID-19 la exigencia de celeridad y eficacia en los avances científicos fue determinante y dado que la identificación de la secuencia genética de las mutaciones del virus han dificultado la generación de un antígeno para atenuar los efectos mortales y el incremento de decesos por la crisis sanitaria (Saavedra-Camacho & Iglesias-Osores, 2020). En razón a esta imposibilidad de obtener una cura rápida, los esfuerzos en la comunidad científica se han centrado en la creación, perfeccionamiento y producción masificada de equipos e indumentaria para prevenir el contagio como medida transitoria para las consecuencias negativas de la pandemia. En consecuencia las disciplinas científicas entorno a la ingeniería, por su aporte al campo tecnológico, han ejercido un papel preponderante para que la primera línea de defensa pueda afrontar y continuar sus actividades sanitarias frente a las variantes del sars-cov 2 (Betancourt et al, 2020).

Los aportes de la ingeniería se evidenciaron en las prácticas sanitarias promovidas por la Organización Mundial de la Salud (Organización Mundial de la Salud) (OMS, 2020a, OMS, 2020b y OMS, 2020c) y la producción científica con el objetivo de incrementar el conocimiento sobre los aportes de la ingeniería reflejando un aumento destacado coincidente con el cambio estructural propiciado por la crisis sanitaria: de 289187 (2018) a 364037 (2020) en la base de datos Web Of Science y de 109280 (2018) a 120979 (2020) en Scopus, en las categorías de Ingeniería, siguiendo una tendencia positiva creciente

Figura 1. *Frecuencias recuperadas de consultas en el área de ingeniería.*



A partir de la argumentación precedente ha resultado esclarecedora la relevancia de la ingeniería en la sociedad, principalmente por la capacidad para integrar los conocimientos científicos y tecnología con el objetivo de entender, gestionar y convertir la información y recursos naturales para la producción de bienes y servicios, segmentando sus funciones en nueve aspectos consignados en la tabla 1 (OMS, 2020d). Por esta acumulación de razones, la ingeniería, en especial la ingeniería biomédica ha cobrado un papel decisivo en el progreso de la humanidad.

La ingeniería biomédica ha implementado e integrado principios tecnológicos con las disciplinas médicas para diseñar y construir sistemas de evaluación, diagnóstico, detección, prevención y tratamiento, de esta manera, constituye el soporte de los profesionales en la primera línea de acción durante cualquier modalidad de intervención en la salud humana (Gismondi, 2010).

Tabla 1. *Ingeniería biomédica en otras disciplinas.*

FUNCIÓN	CONTENIDO
Investigación básica	Soporte teórico para la formulación de principios que podrían operar en las tecnologías.

FUNCIÓN	CONTENIDO
Desarrollo y diseño	Identificación de necesidades y establecimiento de soluciones para la selección y desarrollo de sistemas tecnológicos.
Construcción y producción	Ejecución empírica de diseños y control de la calidad.
Operación y ensayo	Planificación, selección e instalación de sistemas tecnológicos para la obtención de indicadores clave de su funcionamiento.
Mantenimiento y servicio	Mantener y ofrecer reparaciones de los sistemas.
Mercadeo	Estrategias de para posicionar productos ante una audiencia determinada.
Administración	Implementar toma de decisiones para instituciones pública o privadas.
Educación	Docencia y procesos educativos.

Nota. Tomado de Engineering design: A materials and processing approach por G. Ellwood, 1983, McGraw-Hill.

El cómo estas funciones se vinculan a la crisis pandémica por COVID-19 son la representación de su relevancia para la humanidad, y a la par los cimientos para un futuro donde se ejerza un afrontamiento eficaz de los efectos de la pandemia, es decir, la influencia de los aportes ingenieriles como elemento atenuante de las consecuencias políticas, socioeconómica y laborales del periodo pospandémico (Castro, 2021). Por lo tanto, su importancia en la sociedad a través del tiempo estriba en los aportes tecnológicos como puentes de transición hacia un escenario sostenible.

Por consiguiente, numerosos estudios han sido conducidos para desarrollar sistemas tecnológicos para fortalecer medidas de prevención de contagios (Riyanto y Salsabila, 2022), evaluar estrategias de contención Basu et al, 2022) y diagnóstico (Jalali et al, 2022). La evidencia reciente se ha encaminado en la síntesis de la evidencia científica para la evaluación metodológica de manuscritos científicos, por esta razón la revisión sistemática cobrado relevancia como el método por excelencia para analizar la literatura especializada en una materia, proponer líneas temáticas y destacar los aportes de una

disciplina en el conocimiento de una o más variables (Torres-Carrion et al, 2018), y dado que representa el nivel más alto de evidencia científica (Kirmayr et al, 2021) numerosas investigaciones se han conducido en el estudio de sistemas específicos en la ingeniería con respecto a la crisis sanitaria tales como la exploración de áreas relevantes sobre tecnologías específicas (Aranda et al, 2020), identificación de mecanismos de actuación del coronavirus (Dong et al, 2020) y medición del impacto de la pandemia en el cuerpo humano (Hamasaki, 2021).

Sin embargo, hasta el momento, se ha prestado escasa atención al análisis reflexivo y síntesis de literatura con la finalidad de caracterizar y resaltar los aportes de todos los campos de ingeniería en el afrontamiento de la pandemia por COVID-19. Por lo tanto, el presente estudio configura su relevancia práctica como caracterización de los aportes científicos ingenieriles en el contexto de pandemia para ser una fuente de criterio en la toma de decisiones en los sectores financieros de los gobiernos del mundo. Además, adquiere justificación metodológica en el sentido de la automatización del procedimiento de búsqueda, análisis de datos y estructura de la revisión sistemática para incrementar el grado de replicabilidad. En tal sentido, la identificación de los tópicos relevantes para la valoración de la disciplina con perspectiva en el periodo post pandémico permite evaluar el alcance de sus aportes en el nuevo escenario.

Por lo tanto, en base a la argumentación previamente planteada, se consigna la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los avances en ingeniería durante la crisis sanitaria que repercuten en el afrontamiento de la sociedad al periodo post pandemia?, en tal sentido, se plantea como objetivo: evaluar los avances en ingeniería biomédica durante la crisis sanitaria y segmentar en líneas temáticas, y reflexionar acerca de la influencia de los hallazgos ingenieriles en el afrontamiento de la sociedad en el periodo post pandémico.

La primera sección del presente artículo aborda aspectos relacionados al planteamiento del problema, revisión de antecedentes, justificación para la realización del estudio, pregunta de investigación y objetivos. En el segundo apartado, se sintetizó el método de revisión sistemática para la recolección de datos. En la tercera sección, se ha desarrollado la secuencia de elección de registros científicos y los hallazgos más importantes para dar una respuesta a la pregunta de investigación. En el cuarto apartado, se analizó los hallazgos en contraste con antecedentes directamente relacionados y la explicación de las divergencias con base en el análisis hipotético-teórico y metodológico.

Metodología

Este estudio se constituye como una revisión crítica dado que su búsqueda se enfoca en la identificación de los factores más significativos del campo (Kulviwat et al, 2004) y se realizará una sistematización de la evidencia mediante evaluación de la calidad para determinar la inclusión/exclusión de registros para brindar recomendaciones y sintetizar la información más relevante en la materia de ingeniería biomédica (Grant y Booth, 2009). Se siguieron los estándares PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) para la consignación de criterios de elegibilidad, fuentes de información y recolección de información (Page et al, 2021).

Los artículos incluidos se identificaron en la categoría ingeniería biomédica, no se precisó desenlace de interés dada la naturaleza del método propuesto. En la tabla 1, se consignaron los criterios de inclusión y exclusión para el proceso de filtrado de artículos.

Tabla 2. *Criterios de inclusión y exclusión para la selección de registros.*

CRITERIOS DE INCLUSIÓN	CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
I1. Artículos que se encuentren en la categoría de ingeniería biomédica I2. Artículos de corte cuantitativo, cualitativo o mixto. I3. En un rango de años 2020-2022	E1. Cartas al editor, reseñas, pre publicaciones. E2. Artículos de libros, conferencias o congresos. E3. Artículos no recuperables.

Las fuentes de información se eligieron con base a la rigurosidad científica y la automatización de procedimientos para su inclusión en bases de datos especializadas. Por lo tanto, se seleccionó Scopus y Web Of Science, se consultó por última vez el 14 de mayo del 2022.

La búsqueda de registros científicos fue desarrollada mediante operadores booleanos para la automatización de búsqueda con fines replicativos y procesos de filtrado/

delimitadores inclusivos y exclusivos. En la base de datos Scopus se seleccionó el área temática Ingeniería Biomédica (Biomedical Engineering) del subgrupo Ciencias Físicas identificados con el código Scopus “2204” contenidos en el listado de áreas temáticas de Scopus y todos los códigos de clasificación de revistas científicas (ASJC por sus siglas en inglés). Por otro lado, en la base de datos Web Of Science, se identificaron los registros pertenecientes al área de investigación Ingeniería (Engineering).

Tabla 3. *Secuencia de algoritmos con conexión booleana para la búsqueda de información en las bases de datos especializadas: Scopus y WoS*

BASE DE DATOS	ALGORITMO DE BÚSQUEDA
Scopus	Scopus [257]: SUBTERMS (2204) AND TITLE (sars-cov-2) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020)) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))
	Scopus [544]: SUBTERMS (2204) AND TITLE (covid-19) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020)) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))
	Scopus [63]: SUBTERMS (2204) AND TITLE (coronavirus) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j")) AND (LIMIT-TO (OA , "all")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020))
WoS	WoS [143]: Engineering (Web of Science Categories) and sars-cov-2 (Title) Refined By:Publication Years: 2022 or 2021 or 2020. Web of Science Categories: Engineering Biomedical. Document Types: Articles.
	WoS [509]: Engineering (Web of Science Categories) and covid-19 (Title) Refined By:Publication Years: 2022 or 2021 or 2020. Web of Science Categories: Engineering Biomedical. Document Types: Articles.

Proceso de selección de los estudios

Los registros contenidos en cada base de datos fueron indizados en una biblioteca de artículos en el gestor de referencias Mendeley (Mendeley, 2020) para Scopus y Web Of Science. En primer lugar, para el proceso de filtrado y eliminación de duplicados se empleó la función “Check for duplicates”. La eliminación de artículos se exportó en una base de datos con formato BIB para su análisis en una herramienta de aprendizaje automatizado (Machine Learning) para la gestión de artículos como rayyan (Marshall y Wallace, 2019 y Ouzzani et al, 2016) tomando en consideración criterios ad hoc: eliminación directa ($>90\%$), pendiente para revisión de título, nombre de la revista, número, volumen y rango de páginas ($70 < \% < 90$), y revisión exhaustiva e integral de los resúmenes ($<70\%$). En segundo lugar, se estableció un sistema de doble ciego donde los investigadores del presente estudio para el porcentaje de acuerdo y desacuerdo entre los registros incluidos siguiendo los puntos de corte: (a) acuerdo aceptable (90%), (b) revisión del coordinador para subsanación ($70 < \% < 90$), y (c) discusión de criterio mediado por el coordinador ($<70\%$). Las etiquetas en el procedimiento de selección de los registros finales fueron tomadas en base a los criterios de inclusión/exclusión.

El proceso de extracción de artículos tuvo como resultado la consolidación de una base de datos final con los registros de artículos científicos en formato BIB, la segmentación de los artículos se realizó de manera proporcional al número de investigadores.

En este sentido, se empleó el listado de preguntas para evaluación de calidad científica de artículos propuesto por (Kitchenham y Charters, 2007) que consta de nueve preguntas con opción de respuesta dicotómica donde se aborda la introducción, método, resultados y discusión (IMRyD).

No se extrajo medidas de tamaño de efecto dado que la naturaleza del presente no se enfoca en la combinación estadística de resultados de estudios cuantitativos (Grant y Booth, 2009).

Métodos de síntesis

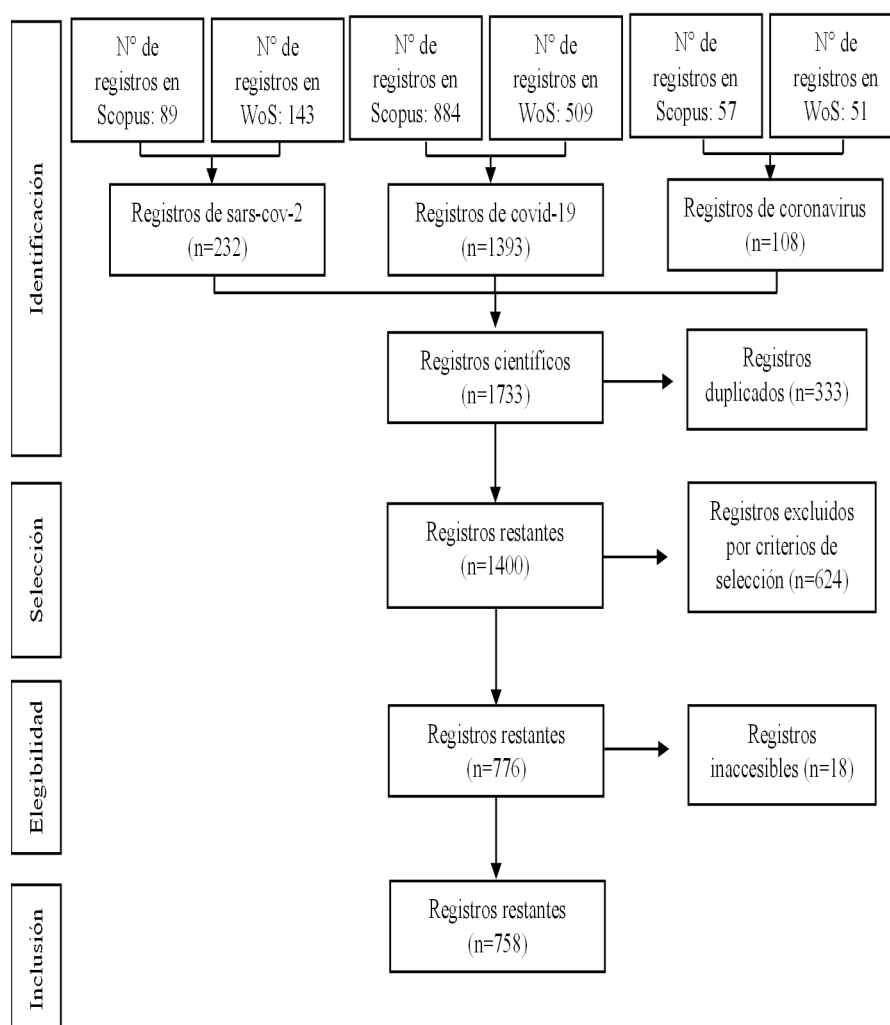
En el proceso de síntesis de información se utilizó mapas de estructuras conceptuales para la identificación de los avances científicos en la ingeniería biomédica en ejes temáticos mediante la técnica de reducción de información análisis de correspondencia

múltiple para las palabras claves selectas por los autores y se empleó el algoritmo de Porter para la corrección de sufijos (Husson y Josse, 2014 y Porter, 1980). En ese sentido, se seleccionó los registros con mayor número de citas totales y normalizadas como para su inclusión en la síntesis por cada línea temática identificada, seguido de la evaluación metodológica de los estudios individuales a través de una lista de chequeo (Kitchenham y Charters, 2007). Posteriormente, la configuración de un mapa temático transversal de la ingeniería biomédica en la pandemia covid – 19 (2020-2022) se estableció con base a cuatro categorías de temas: motores, básicos, emergentes y especializados para contrastar y obtener un panorama de la aportación y vigencia de las propuestas de esta disciplina como miras al escenario pospandémico, por intermedio de la función “thematic map” del paquete bibliometrix (Aria y Cuccurullo, 2017).

Resultados

En la figura 2, se observa el diagrama de flujo de la recolección de muestra de artículos en cuatro escenarios secuenciales: identificación, selección, elegibilidad e inclusión. En la primera fase se registró 1733 artículos con una reducción de 333 por duplicación. En la segunda etapa se eliminó 624 manuscritos como resultado de la aplicación de los criterios de inclusión y la disponibilidad de artículos permitieron la inclusión muestral de 758 artículos.

Figura 2. Diagrama de flujo de inclusión de registros para la síntesis temática.



En tanto, la figura 3, demuestra que los aportes ingenieriles en el área biomédica se estructuran en tres campos investigativos configurados de la siguiente manera:

Clúster 1: Avances tecnológicos en sistemas de clasificación y diagnóstico de la COVID-19

La primera agrupación se conceptualizó en base a la repercusión tecnológica y conjunto de elementos semánticos dirigidos hacia la clasificación de las variantes del virus sars-cov-2 y sus efectos en el organismo humano, lo que permite directamente especializar la tecnología para diagnosticar a las personas expuestas a los anticuerpos.

En ese sentido, la ingeniería biomédica se ha enfocado en la evaluación y eficiencia de sistemas tecnológicos para la detección de individuos con signos de contagio de COVID-19 a través de radiografía de tórax, tomografía computarizada, estudio de

radiografías, análisis de anticuerpos, evaluación de la enzima angiotensina 2 para la detección de susceptibilidad al virus y biosensores electroquímicos. En esta misma línea temática, se priorizó el estudio de la trayectoria y curso del virus por intermedio de estudios epidemiológicos, bioinformática, análisis de la composición estructural de la neumonía y tormenta de citoquinas como consecuencia de su propagación.

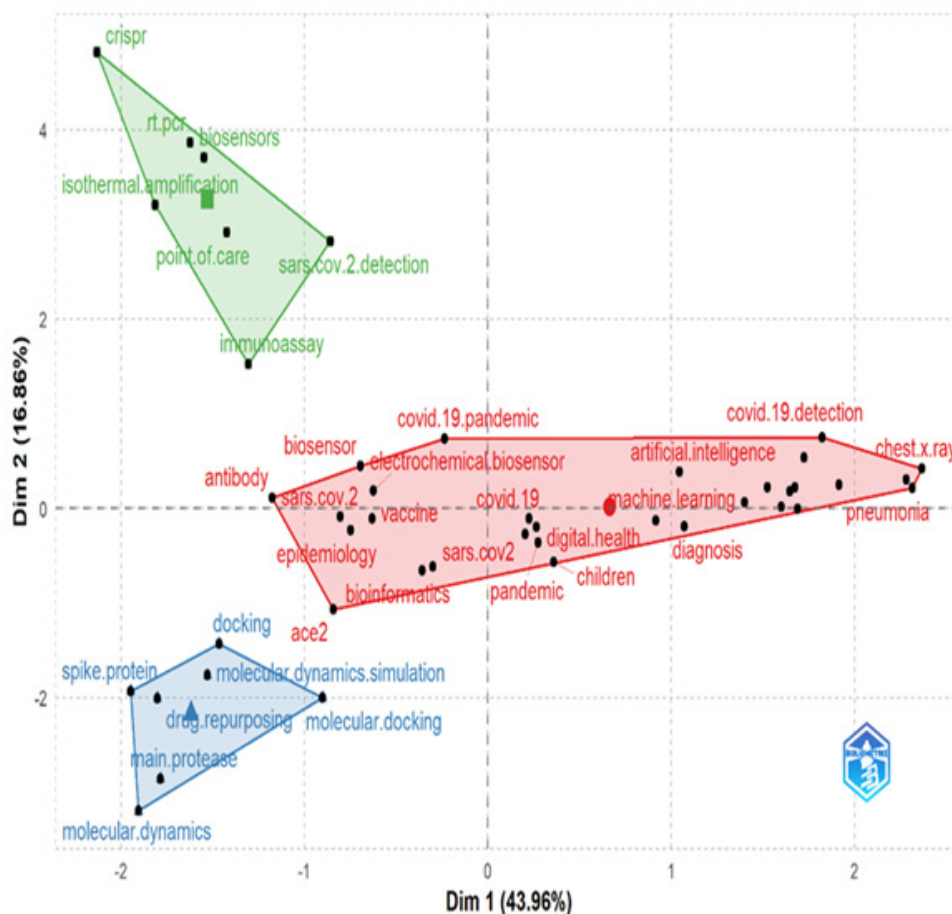
Clúster N° 2: Análisis etiopatogénico para la obtención de un tratamiento eficaz contra los efectos mortales del COVID-19.

La segunda agrupación es una respuesta de la ingeniería biomédica a la evidencia de las origen y causas del virus sars-cov-2. En la medida que el reconocimiento de los factores internos y externos que confluyen en la propagación del COVID-19 posibilita la utilización de mecanismos para la creación de fármacos para el afrontamiento de los signos y síntomas por el contagio del virus. En tal sentido, el análisis de mecanismos para la predicción de desenlaces tales como el acoplamiento molecular y simulación de la dinámica molecular y, por otro lado, el aislamiento de proteínas esenciales en la composición viral del COVID-19, han posibilitado la evaluación y comprobación de compuestos protectores contra el virus como la proteína de la espiga.

Clúster N ° 3: Sistemas tecnológicos para la prevención primaria de los efectos del COVID-19.

Como consecuencia de la agrupación de palabras claves presentes en la evidencia científica disponible en ingeniería biomédica, las propuestas investigativas se han encaminado a la evaluación de amplificación isotérmico, pruebas de rt-pcr y biosensores para el descarte de sujetos contagiados en protección de la salud física de los profesionales de ciencias de la salud que se encuentran en primera línea de defensa en el periodo pandémico. Los métodos previamente descritos sometidos a esquemas rigurosos de comprobación de eficacia e inmunoensayos para garantizar su eficiencia, reduciendo o minimizando la presencia de variables extrañas que comprometan la composición tecnológica de las indumentarias. En este espectro temático cabe resaltar los implementos de seguridad personal (EPP).

Figura 3. Mapa de estructura conceptual de la evidencia difundida por la ingeniería biomédica en la época pandémica.



Previamente se estableció los campos temáticos con mayor espectro de estudios en el área de ingeniería biomédica, en la Figura 4 se analizó campos temáticos en función a cuatro ejes diagnósticos de la evidencia:

En el primer eje diagnóstico, los temas más importantes (motor themes), como se advirtió en la Figura 3, se basaron en procedimientos de detección de las variantes del sars-cov-2, análisis del origen y causas de la enfermedad para proveer una cura, y sistemas preventivos para contrarrestar los efectos de la pandemia.

En el segundo eje, temas especializados (Niche Themes), los estudios enfocados en los procedimientos de clasificación de las variantes del coronavirus se han consolidado como temas de especialización en el área de ingeniería biomédica, representando una sólida respuesta del área en el panorama pandémico.

El tercer eje temático hace referencia a los temas frecuentemente expresados en la literatura científica (Basic Themes), se enmarcan los ensayos controlados segmentados por la presencia del diagnóstico de COVID-19 para comprobar la eficacia de procedimientos de intervención y prevención.

El cuarto eje temático, temas emergentes o en ascenso (Emerging themes) se destaca el estudio de la neumonía vírica (virus pneumonia), los mecanismos biomédicos para el aislamiento de pacientes con sospecha de covid-19 en ambientes controlados y sistemas tecnológico de purificación de los medios de contacto en entornos de contagio y propagación de los virus.

Figura 4. *Análisis temático en cuatro ejes de la vigencia y relevancia de aportes científicos de la ingeniería biomédica en el periodo post pandemia.*



Discusión

El presente estudio se trazó como objetivo la evaluación de los avances en ingeniería biomédica en la crisis sanitaria mediante la segmentación de líneas temáticas. El mapa de estructuras conceptuales determinó el establecimiento de tres clústeres para caracterizar: (a) Avances tecnológicos en sistemas de clasificación y diagnóstico de COVID-19, (b) Análisis etiopatogénico para la obtención de un tratamiento eficaz contra los efectos mortales del COVID-19, y (c) Sistemas tecnológicos para la prevención de los efectos del COVID-19.

En la actualidad, existen escasos estudios cimentados en el establecimiento de una perspectiva general de la ingeniería biomédica y su relación con el COVID-19 desde un método de revisión sistemática. En contrastación, un aporte que tiene mayor proximidad con la finalidad del presente estudio radica en el manuscrito científico de (Aria y Cuccurullo, 2017) quien realizó una revisión bibliométrica para esclarecer los aportes en materia del virus en la población pediátrica a partir de tendencias, difusión y relevancia de autores, países e instituciones. Los hallazgos previamente descritos configuran una línea base de contraste para esclarecer el panorama en disciplinas específicas, como el caso de ingeniería biomédica, con influencia demostrada en las políticas de mitigación de la pandemia por lo que a continuación se discute cada línea temática consignada en la búsqueda sistematizada.

En primer lugar, con referencia a los avances tecnológicos en sistemas de clasificación y diagnóstico de la COVID-19 como resultado de la concurrencia de las palabras claves, esta agrupación resulta coinciden parcialmente con los reportes de (Chen et al, 2020) quienes resaltaron el papel de la tecnología PCR para el diagnóstico de COVID-19, sin embargo, además se identifica técnicas que han recibido escaso tratamiento en el presente estudio tales como RT-LAMP, DETECTR, SHERLOCK o la secuenciación de genes. La discrepancia puede encontrar explicación en el método empleado dado que la metodología de revisión sistemática implica una selección incremental de fuentes, protocolos de selección pautados con fines replicativos, evaluación de las múltiples fuentes de sesgo en estudios individuales, presentación de los hallazgos y, sobre todo, la concepción de objetivos entre ambos estudios (Smith, 2011).

En el segundo panorama, con relación al análisis etiopatogénico para la obtención de un tratamiento eficaz contra los efectos mortales del COVID-19, se ha constatado que existe un interés en analizar la composición del virus con fines curativos. La creciente relevancia en esta temática ha sido secundada y complementada por (Milagre et al, 2021) quienes analizaron la efectividad de los métodos utilizados en estudios para el tratamiento del COVID-19, en un nivel más detallado a partir de la sistematización de la evidencia de treinta artículos acerca de la eficacia de fármacos para el monitoreo, síntesis y actualización para incrementar los niveles de criterio para la toma de decisiones en materia de salud pública, e identificaron la pertinencia de elaborar medicamentos para atenuar o retener el avance de la enfermedad.

La tercera línea temática priorizada son los sistemas tecnológicos para la prevención de los efectos del COVID-19, con hallazgos complementados en técnicas específicas tales como nanotecnología (Singh et al, 2021) e indumentaria de protección personal (Karmacharya et al, 2021) como medidas preventivas para ralentizar el nivel de contagio entre los seres humanos y establecer estrategias para atenuar las consecuencias del virus en el organismo. Este contraste metodológico da como resultado una visión de la demanda tecnológica emergente de sistemas rentables y eficientes para evitar y detener la propagación de las olas de contagio derivadas de las variantes del sars-cov-2 en un panorama que requiere soluciones rápidas.

El segundo objetivo propuesto se encaminó a la reflexión de la influencia de los hallazgos en ingeniería biomédica para la preservación de la sociedad en el periodo post pandemia. En ese sentido, resulta necesario conducir la reflexión en un marco operativo ulterior al periodo pandémico, precisamente, contexto post pandemia a través de los hallazgos representados en temas emergentes o ascenso donde se encuentran tópicos que trascienden la frontera o interés de estudio actual y se encuentran enraizados en la presentación de líneas de acción en el futuro.

La nueva realidad post pandémica

En el cuarto eje temático se ha propuesto el estudio de la neumonía vírica como eje temático en desarrollo en la ingeniería biomédica, principalmente porque son consecuencia del apareamiento de un organismo sano, o susceptible, con virus. En consecuencia, en razón de este apareamiento se han producido contadas crisis sanitarias nacionales y mundiales, entre ellas podría destacarse en los últimos cinco

años la aparición del virus SARS, H5N1, H1N1 y Sars-CoV-2 representando un aumento significativo de periodos de contagio en comparación a siglos o décadas anteriores (Menchén et al, 2022).

En la medida que se reduzcan las brechas geográficas y digitales la interculturalidad se establece como el comportamiento colectivo inherente a las personas, donde la transacción social, cultural, económica, educativa y política entre naciones configuran numerosas potencialidades para el crecimiento de la humanidad como especie, sin embargo, se presentan riesgos inherentes a la interacción entre distintas comunidades: la adquisición de nuevas enfermedades. Este último punto, resulta crítico en virtud de la experimentación de un crecimiento desmesurado de virus desconocidos para la comunidad científica que exigen avances cada vez más eficaces y raudos en la identificación y secuenciación de códigos genéticos de nuevos agentes patógenos virales, a su vez, acompañados de una serie de políticas sanitarias globales que permitan la actuación conjunta de regiones, países y continentes (Paladines y Valencia, 2020).

A pesar que los gobiernos del mundo se encuentren enfrentando los efectos derivados de la pandemia y la propagación de nuevas variantes del sars-cov-2, resulta imperativo consolidar lineamientos de salud pública basados en (a) previsión de un fondo de inversión destinado a las disciplinas que provean avances en la detección de nuevos virus, (b) establecer pautas de comunicación y transmisión de información en crisis sanitarias, (c) instigar la participación de representantes de todas las disciplinas en salud pública, (d) elaborar protocolos preventivo-sanitarios en espacios de intercambio internacional de grandes masas de personas, y (e) promover la participación ciudadana como agentes emisores de educación para la salud en sus respectivas comunidades.

En consecuencia, la ingeniería biomédica se encuentra promoviendo y desarrollando con más frecuencia mecanismos de purificación de espacios abiertos y cerrados para la prevención de nuevas variantes o nuevos virus en la etapa post pandémica, de esta manera, cimentando un futuro donde la limpieza y desinfección serán la directriz por antonomasia equiparable a hábitos cotidianos como lavado de dientes.

Conclusiones

Las líneas temáticas elaboradas a partir de los aportes de la ingeniería biomédica en el contexto de pandemia se segmentan en: (a) Avances tecnológicos en sistemas de clasificación y diagnóstico de COVID-19, (b) Análisis etiopatogénico para la obtención de un tratamiento eficaz contra los efectos mortales del COVID-19, y (c) Sistemas tecnológicos para la prevención de los efectos del COVID-19.

Los hallazgos contenidos en este manuscrito permiten trazar una línea divisoria entre categorías científicas de la ingeniería biomédica y su influencia en la pandemia por COVID-19; con implicancias inmediatas en el diagnóstico, detección y prevención de las consecuencias inmediatas derivadas de la pandemia y mediatas en la consolidación de políticas públicas en materia de salud pública. Asimismo, este estudio adquiere implicancias para la comunidad científica en la medida que esclarece el panorama de los ejes temáticos con mayor y menor estudios, resaltando vacíos en el conocimiento o evidencia en desarrollo, para conducir futuras investigaciones orientadas a desentrañar campos temáticos poco estudiados.

Sin embargo, las limitaciones metodológicas que inciden en la generalización de los hallazgos radican en el análisis fundamental de las líneas temáticas y abordaje bibliométrico de la producción científica para encaminar y describir con mayor alcance el panorama de la investigación en ingeniería biomédica. Una segunda limitación reside en el número de bases de datos empleadas y segmentación de artículos en variables sociodemográficas relevantes. La tercera limitación es propiciada por el escaso análisis de las fuentes de comprobación de eficacia en la ingeniería biomédica, principalmente, en la prevención de crisis sanitarias.

En razón de las limitaciones, las recomendaciones proporcionadas para futuros estudios se orientan a tres líneas: (a) elaborar análisis de las palabras claves integradas en los campos temáticos presentados, (b) incrementar el número de base de datos y segmentar los artículos, y (c) realizar procedimientos para la comprobación de eficacia en procedimientos proporcionados por la ingeniería biomédica tales como meta análisis.

Referencias

- Albornoz, M., Barrere, R., Osorio, L., & Sokil, J. (2021). La respuesta de la ciencia ante la crisis del COVID-19. *Papeles Del Observatorio*, 115–33.
- Aranda, P., Wicklein, B., Ruiz-García, C., Martín-Sampedro, R., Darder, M. & Ruiz-Hitzky, E. (2020). Research and Patents on Coronavirus and COVID-19: A Review. *Recent Patents on Nanotechnology*, 14(4), 328–50. <https://doi.org/10.2174/1872210514666201021145735>
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–75. <https://www.bibliometrix.org/>
- Asdrúbal, V. (2004). La relación entre la ingeniería y la ciencia. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (31), 156–174. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003113.pdf>
- Basu, S., Prem, R., Santra, P., Mahapatra, G., & Elsadany, A. (2022). Preventive control strategy on second wave of Covid-19 pandemic model incorporating lock-down effect. *Alexandria Engineering Journal*, 61(9), 7265–76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016821008772>
- Betancourt, P., Guevara, M., Hidalgo, M., Restrepo, S., Potdevin, E., Huertas, J., et al. (2020). El papel de la ingeniería en la pandemia de COVID-19. *Revista de Ingeniería*, (50), 8–13. <https://doi.org/10.16924/revinge.50.1>
- Carvalho, M., Lima, L., & Coeli, C. (2020). Ciência em tempos de pandemia. *Cadernos de Saúde Pública*, 36(4). <https://doi.org/10.1590/0102-311X00055520>
- Castro, N. (2021). La Post Pandemia Disyuntivas y Confrontaciones. Archipelago *Revista cultural de nuestra América*, 28(111). Available from: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/archipelago/article/view/79257/70029>
- Chen, Q., He, Z., Mao, F., Pei, H., Cao, H., & Liu, X. (2020). Diagnostic technologies for COVID-19: a review. *RSC Advances*, 10(58), 35257–35264. <https://doi.org/10.1039/d0ra06445a>
- Dong, Y., Dai, T., Liu, J., Zhang, L., & Zhou, F. (2020). Coronavirus in Continuous Flux: From SARS-CoV to SARS-CoV-2. *Advanced Science*, 7(20). <https://doi.org/10.1002/advs.202001474>

- Gismondi, G. (2010). Ingeniería Biomédica. *Revista Ciencia y Cultura*, (24), 99–118. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rcc/n24/v11n24a07.pdf>
- Grant, M., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Hamasaki, H. (2021). Daily Physical Activity and Sleep Measured by Wearable Activity Trackers during the Coronavirus Disease 2019 Pandemic: A Lesson for Preventing Physical Inactivity during Future Pandemics. *Applied Sciences*. 2021 Oct 25;11(21):9956. <https://doi.org/10.3390/app11219956>
- Husson, F., & Josse, J. (2014). *Multiple Correspondence Analysis*. In J. Blasius & M. Greenacre (Eds.), *Visualization and verbalization of data*. 165–185. CRC Press.
- Jalali, S., Ahmadian, M., Ahmadian, S., Hedjam, R., Khosravi, A., & Nahavandi, S. (2022). X-ray image based COVID-19 detection using evolutionary deep learning approach. *Expert Systems with Applications*, (201), 116942. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116942>
- Karmacharya, M., Kumar, S., Gulenko, O., & Cho, Y. (2021). Advances in Facemasks during the COVID-19 Pandemic Era. *ACS Applied Bio Materials*, 4(5), 3891–3908. <https://doi.org/10.1021/acsabm.0c01329>
- Kirmayr, M., Quilodrán, C., Valente, B., Loezar, C., Garegnani, L., & Franco, J. (2021). The GRADE approach, Part 1: how to assess the certainty of the evidence. *Medwave*, 21(02), e8109–9. <https://doi.org/10.5867/medwave.2021.02.8109>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. (Issue EBSE 2007-001). https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf
- Kulviwat, S., Guo, C., & Engchanil, N. (2004). Determinants of online information search: a critical review and assessment. *Internet Research*, 14(3), 245–53. <https://doi.org/10.1108/10662240410542670>
- Marshall, I., & Wallace, B. (2019). Toward systematic review automation: a practical guide to using machine learning tools in research synthesis. *Systematic Reviews*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-019-1074-9>
- Menchén, D., Vázquez, J., Allende, J., & García, G. (2022). Neumonía vírica. Neumonía en la COVID-19. *Medicine*, 13(55), 3224–34. <https://www.medicineonline.es/es-neumonia-virica-neumonia-covid-19-articulo-S030454>

1222001159?esCovid=Dr56DrLjUdaMjzAgze452SzSInMN&rfr=truhgiz&y=kEzTXsahn8atJufRpNPuIGh67s1

Mendeley LTD. Mendeley. 2020; 1.19.8. <https://www.mendeley.com/>

Milagre, S., Pereira, A., De Oliveira, A., De Andrade, A., Cabral, A., Barreto, C., et al. (2021). Effectiveness and quality analysis of methods in studies for the treatment of COVID-19. *Research on Biomedical Engineering*, 38(1), 229–41. <https://doi.org/10.1007/s42600-021-00134-7>

Monzani, A., Tagliaferri, F., Bellone, S., Genoni, G., & Rabbone, I. (2021). A Global Overview of COVID-19 Research in the Pediatric Field: Bibliometric Review. *JMIR Pediatrics and Parenting*, 4(3), e24791. <https://doi.org/10.2196/24791>

Organización Mundial de la Salud. (2020a). *Prevención y control de infecciones durante la atención sanitaria de casos en los que se sospecha una infección por el nuevo coronavirus (nCoV)* [Orientaciones provisionales]. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330685/9789240001114-spa.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (2020b). *Recomendaciones sobre el uso de mascarillas en el contexto de la COVID-19* [Orientaciones provisionales]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331789/WHO-2019-nCoV-IPC_Masks-2020.3-spa.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2020c). *Uso racional del equipo de protección personal frente a la COVID-19 y aspectos que considerar en situaciones de escasez graves* [Orientaciones provisionales]. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331810/WHO-2019-nCoV-IPC_PPE_use-2020.3-spa.pdf

Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A. (2016). Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>

Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., et al. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol*, 74(9), 790–9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>

Paladines, F., & Valencia, J. (2022). Globalización post covid-19: Efectos sociopolíticos y económicos del fenómeno. *Sur Academia: Revista Académica-Investigativa de la Facultad Jurídica, Social y Administrativa*, 7(14), 74–88. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/suracademia/article/view/726>

- Porter, M. (1980). An algorithm for suffix stripping. *Program.*, 14(3), 130–137. <https://doi.org/10.1108/eb046814>
- Riyanto, & Salsabila, B. (2022). Validation method and quality control of Hydrogen Peroxide in disinfectant for COVID-19 prevention. *Journal of Engineering, Science and Technology*, (17), 47–54. https://jestec.taylors.edu.my/Special%20Issue%20ISSTEC%202021/ISSTEC_06.pdf
- Sánchez, A., & Rojas, C. (2020). *La ciencia e innovación en tiempos de pandemia*. V Congreso Virtual Internacional Desarrollo Económico, Social y Empresarial En Iberoamérica. Junio; 114–123. <https://www.eumed.net/actas/20/desarrollo-empresarial/8-la-ciencia-en-tiempos-de-pandemia.pdf>
- Singh, P., Singh, D., Sa, P., Mohapatra, P., Khuntia, A., & Sahoo, K. (2021). Insights from nanotechnology in COVID-19: prevention, detection, therapy and immunomodulation. *Nanomedicine (Lond)*, 16(14), 1219–35. <http://dx.doi.org/10.2217/nnm-2021-0004>
- Smith, V., Devane, D., Begley, C., & Clarke, M. (2011). Methodology in conducting a systematic review of systematic reviews of healthcare interventions. *BMC Medical Research Methodology*, 11(1). <https://bmcmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-11-15>
- Torres-Carrión, P., González-González, C., Aciar, S., Rodríguez-Morales, G. (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363388>