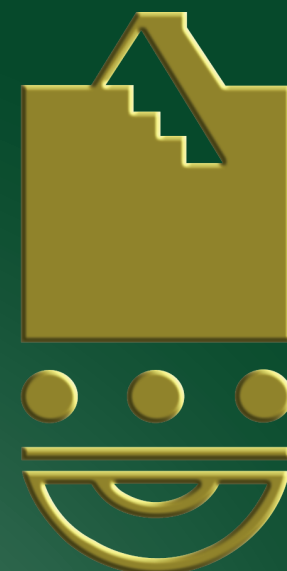




CIENCIA *ergo-sum*

Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva
de la Universidad Autónoma del Estado de México



Volumen 29 Número 4

Número especial "SARS-CoV-2" (segunda parte) 2022

Violencia laboral contra las
mujeres del área de salud en la
atención al COVID-19 en México

Tuberculosis en tiempos de COVID-19:
cambios y oportunidades

Nanomateriales a la vanguardia para combatir
el virus SARS-CoV-2

Estrategias de optimización para hacer frente
a la pandemia COVID-19

Synthetic Biology and the Boost of
COVID-19 Vaccines Technology Deve-
lopment through International
Alliances



Universidad Autónoma del Estado de México

Doctor en Ciencias e Ingeniería Ambientales
Carlos Eduardo Barrera Díaz
Rector

Doctor en Ciencias Computacionales
José Raymundo Marcial Romero
Secretario de Docencia

Doctora en Ciencias Sociales
Martha Patricia Zarza Delgado
Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados

Doctor en Ciencias de la Educación
Marco Aurelio Cienfuegos Terrón
Secretario de Rectoría

Doctora en Humanidades
María de las Mercedes Portilla Luja
Secretaria de Difusión Cultural

Doctor en Ciencias del Agua
Francisco Zepeda Mondragón
Secretario de Extensión y Vinculación

Doctor en Educación
Octavio Crisóforo Bernal Ramos
Secretario de Finanzas

Doctora en Ciencias Económico Administrativas
Eréndira Fierro Moreno
Secretaria de Administración

Doctora en Ciencias Administrativas
María Esther Aurora Contreras Lara Vega
Secretaría de Planeación y Desarrollo Institucional

Doctora en Derecho
Luz María Consuelo Jaimes Legorreta
Abogada General

Doctora en Ciencias de la Educación
Yolanda Eugenia Ballesteros Senties
Secretaria Técnica de la Rectoría

Licenciada en Comunicación
Ginarely Valencia Alcántara
Directora General de Comunicación Universitaria

Doctor en Ciencias Sociales
Luis Raúl Ortiz Ramírez
*Director General de Centros Universitarios
y Unidades Académicas Profesionales / A*

Doctora en Ciencias de la Educación
Sandra Chávez Marín
*Directora General de Centros Universitarios
y Unidades Académicas Profesionales / B*

Doctor en Administración
Jorge E. Robles Álvarez
Director de Publicaciones Universitarias

CIENCIA ergo-sum

Eduardo Gilberto Loría Díaz de Guzmán
Director editorial

Jorge Ramírez Nava
Jefe editorial

Ana Gabriela Bernáldez Fonseca
Diseño y diagramación

Giovanna Miroslava Ramírez Rico
Corrección de estilo

Concepción Mendieta Leyva
Asistente editorial

Virginia Tadeo Verona
Traducción

CIENCIA ergo-sum es una revista académica multidisciplinaria de prospectiva de la Universidad Autónoma del Estado de México, cuyo interés prioritario es que, con base en la rigurosidad académica, los artículos puedan incidir en la **toma de decisiones al extender sus conclusiones** de modo que no se queden en reportes de resultados, sino que **apunten al futuro, den alternativas o adviertan los riesgos de preservar situaciones**. De este modo, se interesa en las colaboraciones que muestren la relevancia práctica, su utilidad y aplicabilidad para dar sustentabilidad social y responder a la problemática actual y futura.

Por lo que toca a los trabajos teóricos o de orden filosófico, el enfoque prospectivo ubicará el método o tratará el estado del arte del tema o de la frontera del conocimiento en cuanto a la discusión de la actualidad y la vigencia del paradigma. Para someter los trabajos a consideración del comité editorial, los colaboradores deberán apegarse a las normas editoriales.



CIENCIA ergo-sum está incluida en:

COMITÉ CIENTÍFICO

Ana María Cetto

Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Alberto Constante

Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Carlos Alberto Ortiz Solorio

Colegio de Postgraduados, México.

Francisco Osorio

Universidad de Chile, Chile.

Jean-Pierre Lévy Mangin

Université du Québec en Outaouais, Canadá.

Lourdes Márquez Morfín

Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.

Martin Oppenheimer

Rutgers University, Estados Unidos.

Olga Rusakova

Universidad Estatal de Los Montes Urales, Rusia.

Nikolay Tetryakov

Russian University of Finance, Rusia.

Timur Kamalov

Moscow State Open University, Rusia.

Yuri Petrovich Rybakov

Friendship People University of Russia, Rusia.

Julio Javier Martinell Benito

Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Mario Alberto Rodríguez Meza

Instituto Nacional de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Daniel Miralles

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Luis María Viega Cázeres

Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Christian Bredemeier

Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Vladimir Serkin

Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México

COMITÉ EDITORIAL

Alfredo Mario Baronio

Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

Alfredo Coutiño

Moody's Analytics, México.

Ana María Vianco

Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.

Ángeles Sánchez Díez

Universidad Autónoma de Madrid, España.

Antonio Pulido San Román†

Universidad Autónoma de Madrid, España.

Gabriela Mordecki

Instituto de Economía, Uruguay.

Jorge A. Herrera Flores

Universidad de Bristol, Reino Unido.

Juan Carlos Suárez Villegas

Universidad de Sevilla, España.

Oscar González Molina

Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

Samuel Manickam

University of North Texas, Estados Unidos.

Manuel Ordorica Mellado

El Colegio de México, México.

COMITÉ DE REDACCIÓN

CIENCIAS EXACTAS

Máximo Agüero Granados

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

CIENCIAS APLICADAS

Luis Escobar Alarcón

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México.

CIENCIAS HUMANAS Y DE LA CONDUCTA

Carmen Álvarez Lobato

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

CIENCIAS BIOLÓGICAS, DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

Javier Manjarrez Silva

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

CIENCIAS NATURALES Y AGROPECUARIAS

Aurelio Domínguez López

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

José Luis Chávez-Servia

Instituto Politécnico Nacional, Unidad Oaxaca, México.

CIENCIAS DE LA SALUD HUMANA

Myrna A. R. Dent

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

CIENCIAS SOCIALES

Ma. de la Cruz Castro Ricalde

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Toluca, México.

CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA ATMÓSFERA

Miguel Ángel Balderas Plata

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

ESPACIO DEL DIVULGADOR

César Gutiérrez Tapia

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, México.

HISTORIA DE LA CIENCIA EN MÉXICO

Héctor Favila Cisneros

Universidad Autónoma del Estado de México, México.

PROSPECTIVA

Regina Freyman Valenzuela

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Toluca, México.

ESCI

Emerging Sources Citation Index, Clarivate Analytics

CONACYT

Índice de Revistas Mexicanas de Divulgación Científica y Tecnológica

REDALYC

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

DOAJ

Directory of Open Access Journals

CATÁLOGO LATINDEX

Índice Latinoamericano de Publicaciones Científicas Seriadadas

IBSS

International Bibliography of the Social Sciences

IRESIE

Índice de Revistas de Educación Superior e Investigación Educativa, UNAM

CIRC

Clasificación Integrada de Revistas Científicas, España

ERIHPLUS

European Reference Index for the Humanities and Social Sciences

CLASE

Citas Latinoamericanas en Ciencias Sociales y Humanidades

DIALNET

Universidad de la Rioja, España

REDIB

Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico, España

EBSCO

SSOAR

Social Science Open Access Repository

HELA

Catálogo "Hemeroteca Latinoamericana"

OCLC

Online Computer Library Center

BIBLAT

Bibliografía Latinoamericana, UNAM



Editorial

Violencia laboral contra las mujeres del área de salud en la atención al COVID-19 en México

Eréndira Fierro Moreno y Francisca Ariadna Ortiz Reyes

Se busca determinar en qué medida la igualdad laboral, la cultura institucional, la equidad salarial, la corresponsabilidad de la vida laboral, los estereotipos de género, la discriminación laboral y la productividad diferenciada contribuyeron a un contexto de violencia en mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad por COVID-19. La metodología utiliza la aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple. En las conclusiones se ratifica una relación positiva y significativa de los estereotipos de género, la discriminación laboral y la productividad diferenciada en la violencia laboral en contra de las mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad por COVID-19.

Tuberculosis en tiempos de COVID-19: cambios y oportunidades

Alexia Urbán-Solano, Yerany Aguilar-Durán, Julio Flores-Gonzalez y Leslie Chávez-Galán

Se discute cómo el proyecto End TB, que planteaba erradicar la tuberculosis para 2030, se ha visto afectado por atender patologías emergentes; en consecuencia, su tasa de infección y mortalidad incrementó en 2021. Aunque la atención de la comunidad científica está centrada en COVID-19, no debe olvidarse a la tuberculosis. Ambas patologías muestran importantes similitudes, las cuales permiten sugerir que la inversión en la investigación conjunta puede aprovecharse para el desarrollo de nuevas estrategias diagnósticas y terapéuticas. Analizar la tuberculosis, enfermedad infecciosa que es un problema de salud pública, en el contexto de la pandemia por COVID-19 ayuda a evidenciar las carencias de los sistemas de salud en el mundo.

Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2

Perla Sánchez-López, Sergio Fuentes Moyado, Vitalii Petranovskii y Elena Smolentseva

Se presentan los avances que tiene la nanotecnología en la lucha contra las enfermedades infecciosas con los mecanismos de transmisión viral, incluyendo el virus SARS-CoV-2. Se mencionan algunos ejemplos en el desarrollo de nuevos nanomateriales con propiedades biocidas que han demostrado sus efectos sobre un amplio espectro de microorganismos patógenos. En específico, se resaltan las propiedades antimicrobianas de nanopartículas de cobre (Cu) y plata (Ag) y su potencial uso en las mascarillas u otros equipos de protección personal para alcanzar el objetivo de aumentar la protección de la población contra el COVID-19.

Estrategias de optimización para hacer frente a la pandemia COVID-19

Rogelio Ochoa-Barragán, Aurora del Carmen Munguía-López y José María Ponce-Ortega

Se dan a conocer distintas estrategias de optimización matemática que ayuden a combatir las problemáticas generadas por el COVID-19. Para tal fin, las estrategias presentadas emplean metodologías de optimización comúnmente aplicadas en otras áreas de la ciencia para atender la logística de vacunas, el consumo de energía, el impacto ambiental, el impacto económico y la gestión de los recursos sanitarios, entre otros. Impulsar el desarrollo de este tipo de estrategias permitirá estar mejor preparados ante la posibilidad de futuras pandemias.

Synthetic Biology and the Boost of COVID-19 Vaccines Technology Development through International Alliances

Luis Alfonso Muñoz-Miranda, Ana Sofía Arreola-Hernández y Luis Joel Figueroa-Yáñez

The importance of the development of the necessary technology to achieve the production of vaccines from a "synthetic biology" perspective is analyzed, as well as the essential articulation and financing through international cooperation to combat COVID-19, all the information on this topic is from the bibliographical research on topics focused on the development, cooperation, and international regulations involved in the synthesis of COVID-19 vaccines. A comprehensive vision on the recent development strategies on health and bioeconomy issues is proposed to face future eventualities and thus promote better health-oriented developments with the possibilities of immediate action.

CIENCIA ergo-sum, Volumen 29, Número 4, Número especial "SARS-CoV-2" (segunda parte) 2024, es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Autónoma del Estado de México. Leona Vicario 201, Barrio de Santa Clara. C.P. 50090. Toluca, Estado de México, México. Tels.: (722) 2 77 38 35 y 2 77 38 36. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/>, ciencia.ergosum@yahoo.com.mx. Editor responsable: Dr. Eduardo Gilberto Loria Díaz de Guzmán, Dirección de Publicaciones Universitarias. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2015-071312522600-102, ISSN: 1405-0269, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Licitud de título No. 7955, Licitud de contenido No. 5634 ambos expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación el 10 de junio de 1994.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido aquí publicado sin fines de lucro, siempre y cuando no se modifique, se cite la fuente completa y su dirección electrónica.



Esta publicación utiliza la Licencia *Creative Commons* 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.



Violencia laboral contra las mujeres del área de salud en la atención al COVID-19 en México

Fierro Moreno, Eréndira; Ortiz Reyes, Francisca Ariadna

Violencia laboral contra las mujeres del área de salud en la atención al COVID-19 en México

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 29, núm. 4. Número especial “SARS-CoV-2”, 2022 | **e178**

Ciencias Sociales

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Fierro Moreno, E. y Ortiz Reyes, F. A. (2021). Violencia laboral contra las mujeres del área de salud en la atención al COVID-19 en México. CIENCIA *ergo-sum*, 29(4). Número especial “SARS-CoV-2”. <https://doi.org/10.30878/ces.v29n4a1>

Violencia laboral contra las mujeres del área de salud en la atención al COVID-19 en México

Gender violence against women in the health sector providing care for COVID-19 in Mexico

Eréndira Fierro Moreno

Universidad Autónoma del Estado de México, México

eren_fierro@yahoo.com

 <http://orcid.org/0000-0002-0921-019X>

Recepción: 23 de abril de 2021

Aprobación: 1 de abril de 2022

Francisca Ariadna Ortiz Reyes

Universidad Autónoma del Estado de México, México

faortizr@uaemex.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-7124-0026>

RESUMEN

Se busca determinar en qué medida la igualdad laboral, la cultura institucional, la equidad salarial, la corresponsabilidad de la vida laboral, los estereotipos de género, la discriminación laboral y la productividad diferenciada contribuyeron a un contexto de violencia en mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad por COVID-19. La metodología utiliza la aplicación de un modelo de regresión lineal múltiple. En las conclusiones se ratifica una relación positiva y significativa de los estereotipos de género, la discriminación laboral y la productividad diferenciada en la violencia laboral en contra de las mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad por COVID-19.

PALABRAS CLAVE: violencia, mujeres, COVID-19, salud, hospitales.

ABSTRACT

This article aims to determine to what extent labor equality, institutional culture, salary equity, co-responsibility of working life, gender stereotypes, labor discrimination and differentiated productivity contributed to a context of violence in women of the health area in the care of COVID-19 disease. The methodology used the application of a multiple linear regression model. One of the conclusions of this research ratifies a positive and significant relationship of gender stereotypes, labor discrimination, differentiated productivity, among others, in labor violence against women in the health area in the care of COVID-19 disease.

KEYWORDS: Violence, women, COVID-19, health, hospitals.

INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2019 se identificó por primera vez un brote diferente de una enfermedad respiratoria aguda, la nueva enfermedad coronavírica (COVID-19). Posteriormente, al propagarse de manera inmediata se convirtió en un gran reto para los sistemas de atención de la salud (Chen *et al.*, 2020; Wu, Leung y Leung, 2020). Para el 5 de abril de 2020, ya se habían diagnosticado de manera oficial más de un millón de personas y se habían declarados muertos a más de sesenta mil pacientes, pero la pandemia continúa extendiéndose (Geropoulos y Matenoglou, 2020). De este modo, el brote de COVID-19 también planteó diversos desafíos sociales y económicos en todo el mundo (Ali, 2020).

La pandemia por COVID-19 está causando una de las mayores crisis económicas del mundo e incide en el bienestar de las personas. Factores de estrés como el aislamiento doméstico, la falta de movimiento, el contacto social, la pérdida de empleos y los problemas económicos, la limitada atención sanitaria y psicosocial, así como el temor a la infección y la muerte y la confrontación con ellas, caracterizan la vida en todo el mundo, pero con grandes diferencias según la región geográfica, la situación socioeconómica y las circunstancias personales (Döring, 2020; Miesen, Raaijmaker y Grift, 2020).

Con una pandemia como enemigo y los trabajadores de la salud en el frente, el daño moral sin duda se producirá. Para quienes trabajan en el cuidado de la salud el agotamiento (problema individual) se convierte en una lesión moral (problema sistémico) (Smith, 2020). Hay estudios recientes que abordan los efectos del COVID-19 en trabajadores de la salud, específicamente en su salud mental y los impactos en su salud física (Shaukat, Mansoor y Razzal, 2020). Desde el punto de vista psicológico, sólo 20% de los trabajadores de los hospitales declaró sentirse psicológicamente seguro durante la pandemia (Felice *et al.*, 2020).

Por desgracia, elementos psicológicos, mentales y sociales como el síndrome *burnout*,^[1] el estrés general, la ansiedad o la depresión, las amenazas percibidas o el dominio relacionado con el lugar de trabajo suelen descuidarse durante la pandemia, aunque las consecuencias son costosas (Khanal *et al.*, 2020; Si *et al.*, 2020; Şahin *et al.*, 2020; Talaei *et al.*, 2020; Abolfotouh *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020; Slakoff, Aujla y Penzey-Moog, 2020; Gold, 2020).

En cualquier desastre biológico, el miedo y los procesos por medio de los cuales una persona se hace acreedora de una o de un conjunto de características que se consideran socialmente indeseables y que se vinculan con la discriminación, la exclusión social y la estigma se intensifican, y los trabajadores de la salud pueden ser un blanco de esto último (Chersich *et al.*, 2020; Otu, Charles y Yaya, 2020). Asimismo, la violencia en el lugar de trabajo se ha documentado en todos los sectores; sin embargo, en aquellos dominados por las mujeres, como los servicios sanitarios y sociales, corren un riesgo especial tales como patrones de perpetración y victimización relacionados con el género, situación que afecta a la experiencia y a la trayectoria profesional de las trabajadoras de la salud y contribuyen a un contexto de violencia (Newman *et al.*, 2011).

Con base en la argumentación anterior, y con el sustento teórico de la teoría ecológica, con la crítica feminista al derecho y con la teoría de la violencia simbólica, el objetivo de este artículo es determinar en qué medida las mujeres del área de salud en la atención del COVID-19 han sido violentadas.

La pregunta fundamental es la siguiente: ¿En qué medida la igualdad laboral, la corresponsabilidad de la vida laboral, la equidad salarial, los estereotipos de género, la discriminación laboral, la productividad diferenciada y la cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral y autoritarismo) contribuyeron a un contexto de violencia en mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad COVID-19?

La contribución de este artículo es ampliar el conocimiento actual de las ciencias sociales y corroborar que a pesar de que hay estructuras sociales que parecieran racionales, tales como la igualdad laboral, la equidad laboral, la equidad salarial y la corresponsabilidad de la vida laboral, éstas acrecientan la violencia laboral contra las mujeres. Del mismo modo, los estereotipos de género, la discriminación laboral, la productividad diferenciada y el autoritarismo inciden en el aumento de la violencia que viven las mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2.

En este marco, este artículo aporta a los practicantes información relevante relacionada con la violencia hacia las mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad COVID-19.

El texto primero presenta una revisión de la literatura que argumenta las hipótesis de investigación, después se describe el método de trabajo y los resultados estadísticos y finaliza con los hallazgos, discusión, limitaciones e implicaciones de la investigación.

1. REVISIÓN DE LITERATURA E HIPÓTESIS

La teoría ecológica considera al ambiente como el conjunto de estructuras seriadas internas e inmediatas a un entorno separado, pero a la vez vinculado con otros entornos inmediatos, es decir, existen interconexiones externas a ese primer entorno que son tan decisivas para el desarrollo como lo que sucede dentro de un entorno específico. Asimismo, el desarrollo de la persona se ve afectado por entornos en los que la persona, incluso, no está presente (Bronfenbrenner, 1987). De este modo, este eje teórico asume una perspectiva interaccionista en donde el individuo se interrelaciona no sólo en su entorno, sino en entornos inmediatos y dinámicos (Monreal-Gimeno, Martínez-Ferrer y Povedano, 2013).

De aquí que la violencia contra las mujeres deba ser explicada como un fenómeno holístico y con una perspectiva interaccionista, ya que no es posible desvincular los sistemas de interacción (individuo, microsistema, ecosistema, macrosistema) (Ramos, 2005) de los factores ambientales públicos y privados, así como tampoco es posible desvincular los tipos de violencia (física, psicológica, económica, patrimonial y sexual) de las modalidades de actuación (laboral, familiar, comunitaria, institucional y feminicida) (ONU, 2006).

La violencia es el uso deliberado del poder o de la fuerza física, ya sea en grado de amenaza o efectivo, contra uno mismo, otra persona o un grupo o comunidad, que cause o tenga muchas probabilidades de causar lesiones, muerte, daños psicológicos, trastornos del desarrollo o privaciones (Cámara de Diputados, 2012) e implica la existencia de roles complementarios públicos y privados ya sean reales o simbólicos (Corsi, 1994; ONU, 1993; Cámara de Diputados, 2020). La violencia se produce en todos los entornos laborales, por lo que algunos sectores económicos están particularmente expuestos a la violencia como el de los servicios de salud y los servicios sociales de apoyo. Dado que esta fuerza de trabajo es en su gran mayoría femenina, la dimensión de género del problema es evidente. En este sentido, lo más preocupante son las consecuencias que tienen un impacto significativo en la eficiencia y eficacia de los sistemas de salud (Cooper y Swanson, 2002; Leather *et al.*, 1999).

Este artículo enfatiza el análisis de la violencia en su modalidad laboral, la cual consiste en un acto o una omisión en abuso de poder que daña la autoestima, salud, integridad, libertad y seguridad de la víctima e impide su desarrollo y atenta contra la igualdad. Se ejerce por las personas que tienen un vínculo laboral con la víctima, independientemente de la relación jerárquica (Cámara de Diputados, 2020). En este caso, las instituciones públicas, en concreto las de salud, como organizaciones sociales no están exentas de la reproducción de estereotipos de género y, por lo tanto, de ejercer violencia contra las mujeres (Cámara de Diputados, 2020).

2. IGUALDAD LABORAL, CULTURA INSTITUCIONAL DESDE LA PERSPECTIVA DE GÉNERO (EQUIDAD LABORAL), EQUIDAD SALARIAL Y CORRESPONSABILIDAD DE LA VIDA LABORAL

La igualdad laboral es el principio que reconoce las mismas oportunidades y derechos para mujeres y hombres, así como el mismo trato en el ámbito laboral (NOM-025, 2015), y puede explicarse en tres modalidades: la igualdad de oportunidades, la igualdad de trato y la igualdad de pago (Montalvo, 2007). No obstante, el conjunto de estructuras socioculturales permeadas de estereotipos y roles de género reproducen desigualdad y violencia contra las mujeres de manera inmediata.

El Instituto Nacional de las Mujeres (INMUJERES, 2002) define desde la perspectiva de género *cultura institucional* como el sistema de significados que determinan las interacciones habituales que se producen bajo reglas escritas, pero también no escritas, caracterizadas por el uso del poder, en donde se identifican además aspectos relacionados con estructuras, procesos, procedimientos, sistemas, infraestructura, creencias, prácticas, así como con comportamientos individuales y colectivos.

Al integrar en este concepto la perspectiva de género, se alude a las políticas de equidad entre hombres y mujeres en todas las prácticas y actividades de las instituciones del Estado mexicano (Román *et al.*, 2016). La equidad laboral y el autoritarismo son algunos constructos que integran esta cultura institucional desde la perspectiva de género. De esta manera, la cultura institucional se convierte en un elemento central que permite esclarecer hasta cierto límite las relaciones que se presentan en una organización. Según De la Hoz (2017), la cultura institucional está basada en las interrelaciones que se construyen al interior de una organización.

El mercado laboral está atravesado por la lógica de la división sexual del trabajo. Las organizaciones a través de un sistema de valores, supuestos y creencias compartidas explícitas o implícitas inciden en la equidad laboral, la cual se refiere a la participación de las mujeres en el trabajo (Méndez, Montoya y Boyero, 2017), digno y con igualdad de oportunidades que los hombres, con salarios que les permitan vivir con independencia. La inequidad salarial es un factor que demuestra cuantitativamente la violencia en el ámbito laboral que vulnera y debilita la autonomía y el empoderamiento de las mujeres (Estrella, 2020). Por tanto, la inequidad salarial se relaciona con la teoría de la discriminación del mercado laboral que señala que las mujeres son afectadas en la desigualdad salarial al recibir un salario menor que los hombres por cumplir el mismo trabajo (Mendoza y García, 2009). Lo anterior tiene múltiples consecuencias de tal forma que es determinante la aplicación de políticas laborales que disminuyan esta inequidad salarial con la finalidad de que a su vez se reduzca la violencia económica a la que están expuestas las trabajadoras.

La corresponsabilidad de la vida laboral implica una redistribución de las tareas dentro y fuera del hogar, por lo que las organizaciones deben asumir un respeto de los derechos laborales de las personas (Cordón y Corrales, 2010). En torno a esto, la corresponsabilidad laboral se convierte en un eje relevante al interior de las organizaciones al permitir un equilibrio en los trabajadores y trabajadoras que al final impactaría en elementos esenciales de las empresas como la productividad, el ambiente laboral, entre otros.

Por último, resulta significativo indicar que los ejes analíticos expuestos en esta sección permiten profundizar en el análisis de la violencia contra las mujeres trabajadoras debido a que se convierten en elementos multifactoriales que inciden en las diferencias estructurales al interior del mercado laboral y que es difícil sean eliminados al estudiarse de forma aislada estos aspectos.

3. ESTEREOTIPOS DE GÉNERO, DISCRIMINACIÓN LABORAL, PRODUCTIVIDAD DIFERENCIADA Y CULTURA INSTITUCIONAL DESDE LA PERSPECTIVA DE GÉNERO (AUTORITARISMO)

Los estereotipos se refieren al conjunto estructurado, a la construcción social de creencias, opiniones y prejuicios acerca de los atributos, características y las funciones sociales que deberían desempeñar los hombres y las mujeres más allá de las cuestiones biológicas (De Lemus *et al.*, 2008; Cook y Cusack, 2010; ONU Human Rights, 2020). Estos estereotipos de género pueden ejercer un efecto negativo en las conductas de hombres y mujeres conduciéndolos a ciclos de violencia que, incluso, pueden ser normalizados socialmente (Sánchez-Velázquez, 2017).

Respecto a la discriminación laboral, la NOM-025 (2015) establece que las mujeres debido a la construcción social de roles y estereotipos de género y a la división sexual del trabajo enfrentan desigualdad laboral y económica, así como el acceso a oportunidades o promociones laborales. La discriminación laboral, en lo que respecta al sexo, se vincula con los roles sociales adjudicados a las mujeres, lo que impide en muchos casos su contratación en puestos de trabajos. Es importante señalar que en las últimas décadas ha existido una mayor incorporación de las mujeres al mercado laboral, por lo que se ha planteado un valioso avance en cuanto a reducir la discriminación laboral por sexo.

En este sentido, un factor que incide en la predisposición basada en el género a la hora de fijar los salarios y de evaluar el valor del trabajo hecho por hombres y mujeres es la denominada *productividad diferenciada*, la cual afirma que las mujeres tienen un rendimiento menor por no concentrar todas sus energías en una sola actividad,

pues cuando se incorporan al mercado laboral desarrollan una *doble jornada o doble presencia*, concepto que se refiere a combinar sistemáticamente el trabajo no remunerado con el remunerado; esta situación permea en la discriminación en el ámbito laboral (INMUJERES, 2003).

Además, la productividad diferenciada se asocia con aspectos técnicos y tecnológicos en donde los hombres predominan en estos puestos de trabajo en las organizaciones. Ante esto, las mujeres se ven excluidas de la posibilidad de tener una mayor productividad, lo que genera una diferencia importante que impacta en la desigualdad laboral y en las categorías de poder que se presentan al interior de las empresas (Vázquez y Urbiola, 2014).

La cultura organizacional está conformada por todos aquellos valores, creencias y la forma de organizar y administrar el trabajo (Barreto y Heloani, 2013): es el proceso de construcción social de la identidad de la organización (Villafañe, 1993). Así, la cultura organizacional autoritaria es donde el ejercicio del poder se realiza de manera arbitraria y carente de justicia y se caracteriza por la intimidación, maltrato por condición de género y la promoción sesgada por sexismos o influyentismo (Román *et al.*, 2016).

Aunado a este panorama, es esencial considerar que el patriarcado postula un poder bajo una estructura dicotómica jerarquizada y sexualizada (Olsen, 2009) de la realidad y del pensamiento; dicho poder está presente en diversas instituciones sociales con el fin de mantener sus principios (Facio y Fries, 1999). El pensamiento dicotómico se convierte en algo de carácter, no sólo descriptivo, sino prescriptivo, que es la imposición de una conciencia sobre otra, en donde no sólo se establece cómo es la supuesta esencia de cada sexo, sino que además indica cómo debe ser y actuar cada uno y cómo no debe hacerlo. El poder se desarrolla y organiza sobre la vida y ha requerido de una serie de técnicas, aparatos e instituciones estatales y no estatales tales como la escuela y el derecho con la finalidad de invadir la vida por completo para regularla y disciplinarla (Vacca y Coppolecchia, 2012).

Uno de los aparatos que se ha utilizado para mantener el poder es el derecho (Ricoy, 2015; Facchi, 2005; Vacca y Coppolecchia, 2012); no obstante, se ha constatado que el derecho cuando incide en el campo laboral produce efectos negativos por no tener en cuenta las condiciones efectivas de las mujeres o simplemente porque los modelos de igualdad, los valores y las estructuras sociales no son compartidos por otras, lo que se traduce en un debilitamiento de garantías que dificultan encontrar una conciliación de los diversos y heterogéneos intereses y valores de las mujeres a través del derecho (Facchi, 2005). En este aspecto, existen construcciones sociales que parecieran racionales pero que son injustas, pues no describen, explican y comprenden su posición. Estas estructuras coadyuvan al mantenimiento de una realidad discriminatoria, incluso se puede considerar que los principios y procedimientos que se consideran garantía y expresión racional y práctica pudieran ser una forma de silenciar la perspectiva que ellas poseen (Ricoy, 2015).

Lo anterior porque las categorías de percepción del mundo social (la visión que cada individuo tiene del espacio depende de su posición en ese espacio) son el producto de estructuras construidas bajo coacciones estructurales (Bourdieu, 1987; Gutiérrez, 2004). Dichas estructuras están regidas por las condiciones pasadas de su principio generador, pero, a su vez, este actuar orientará las prácticas futuras. Así es como los individuos deben recurrir a medios más personalizados de ejercer el poder sobre otros, como el don o la deuda –violencia simbólica– (Bourdieu, 2000; Bourdieu, 2012; Gutiérrez, 2004), dar es un modo de poseer, una manera de atar a otro ocultando el lazo en un gesto de generosidad (Fernández, 2005).

Por ello, es posible que estructuras favorables como la igualdad laboral, la equidad laboral, la equidad salarial y la corresponsabilidad de la vida laboral incidan a que se acreciente la violencia contra las mujeres.

Con base en la argumentación presentada se proponen las siguientes hipótesis:

H1: La igualdad laboral influye en la violencia contra las mujeres.

H2: La equidad laboral influye en la violencia contra las mujeres.

H3: La equidad salarial influye en la violencia contra las mujeres.

H4: La cultura institucional-equidad laboral influye en la violencia contra las mujeres.

H5: Los estereotipos de género influyen positivamente en la violencia contra las mujeres.

H6: La discriminación laboral influye positivamente en la violencia contra las mujeres.

H7: La productividad diferenciada influye positivamente en la violencia contra las mujeres.

H8: La cultura institucional-autoritarismo influye positivamente en la violencia contra las mujeres.

4. MÉTODO

4. 1. Diseño de investigación

El diseño de investigación (Leedy y Ormrod, 2001) es de tipo transversal –transeccional– y no experimental debido a que la recolección de datos se obtuvo en un sólo momento y no hubo intervención en las variables de estudio. De acuerdo con la organización, es un estudio correlacional, ya que incluye técnicas de correlación y regresión (Hair *et al.*, 2008).

4. 2. Muestra y caracterización

Con la finalidad de cumplir con el objetivo, este estudio empírico llevó a cabo un proceso de muestreo no probabilístico (por conveniencia-sujetos voluntarios) a 75 empleados(as) de diversos hospitales y clínicas del Estado de México, de la Ciudad de México, de Jalisco y de Sinaloa, cuya unidad de análisis fue en su mayoría médicos (as) y enfermeros (as). Los hospitales y clínicas se eligieron con miras en buscar las unidades más representativas y convenientes.

En lo que respecta al tamaño de la muestra, esta investigación está basada en el planteamiento de Hair *et al.* (2008: 88) sobre la muestra mínima necesaria para ejecturar un análisis factorial (AF). En este sentido, los autores exponen que para el análisis factorial se requiere al menos una muestra de 50 observaciones y como regla general el mínimo muestral debe tener al menos cinco veces el número de observaciones de las variables analizadas, por lo que las 75 observaciones son suficientes para aplicar esta técnica estadística. Es importante apuntar que los resultados son interpretados con cuidado como lo señalan los autores por el tamaño de la muestra.

Respecto a la caracterización de los hospitales, 27 (36%) son de atención a población abierta, 24 (32%) son de atención a población derechohabiente, 13 (17%) son clínicas de salud pública y 2 (2.7%) son hospitales privados.

Acerca del tipo de hospital, 13 (17%) son de primer nivel, 19 (25%) son de segundo nivel, 35 (47%) son de tercer nivel y el resto (10%) son de otro tipo de hospital.

En cuanto a la caracterización de los participantes, en la muestra se observa que la mayoría es mujer, es decir, 88% está conformado mujeres y 12% por hombres; el mayor número de participantes osciló entre una edad de 31 a 40 años (41%), 25% entre 20 y 30 años, 28% de 41 a 50 años y la minoría (5%) tiene más de cincuenta años. En lo referente a la jerarquía laboral (puesto), la mayoría (80%) es personal operativo, 19% mandos medios y la minoría (2%) mandos directivos.

En relación con el tipo de empleado(a), la mayoría es de base-adscritos (52%), 15% es personal residente, 30% cuenta con otro tipo de contrato, la minoría (4%) es pasante. Asimismo, el tipo de contrato, 36% es personal de base, 21% temporales, 4% de suplencia, 7% personal del bienestar y 3% personal *outsourcing*.

Cabe puntualizar que la mayoría de los respondientes labora en hospital covid (60%) y 30 respondientes laboran en hospital no covid.

La jornada laboral de la mayoría de los respondientes es la matutina (44%), coincidente es la jornada especial y la de guardias con 17% y 12% cubre la jornada nocturna.

4. 3. Instrumento de recolección de datos

La estrategia de investigación (Creswell, 2009; Leedy y Ormrod, 2001) consistió en encuesta aplicada en línea (Google Forms *software*) durante octubre. Los datos se recolectaron en hospitales y clínicas de salud en México. En la aplicación del instrumento se garantizó la confidencialidad y el anonimato de los participantes.

El instrumento se integró por dos secciones: *a*) la primera contiene datos de los hospitales (tipo de hospital, tipo de área de trabajo) y datos demográficos y laborales de los respondientes (nivel jerárquico, edad, género, tipo de trabajo, tipo de empleado(a), tipo de contrato, sector de grado de infección en donde labora, si se labora en hospital y área covid y tipo de jornada laboral) y *b*) la segunda contiene los reactivos para medir las variables objeto de estudio. Todos los reactivos se plantearon en escala Likert de siete opciones que va de 1 (totalmente en desacuerdo) a 7 (totalmente de acuerdo).

El instrumento se construyó y operacionalizó a partir de las contribuciones teóricas de diversos autores y normas (NOM-025, 2015; Román, Ríos y Traverso, 2013; Montalvo, 2007; De Lemus *et al.*, 2008) (véase anexo). Para ayudar a perfeccionar el cuestionario, expertos validaron el contenido, cuyas sugerencias fueron incorporadas en una segunda revisión.

4. 3. 1. Definición de variables

Estereotipos de género: esta variable fue operacionalizada a partir de De Lemus *et al.* (2008) y se estructuraron y elaboraron seis reactivos o ítems. Por otra parte, la variable discriminación laboral se definió a partir de la norma mexicana NMX-R-025-SCFi-2015 y de Román, Ríos y Traverso (2013) y, de manera similar que con la variable anterior, se estructuraron y elaboraron seis reactivos o ítems.

En la definición de la variable de cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral y autoritarismo) se retomó el trabajo de Román *et al.* (2016). En el caso de la de *equidad laboral* se emplearon nueve reactivos, mientras que en el caso del autoritarismo se utilizaron dos reactivos.

Igualdad laboral: esta variable fue operacionalizada a partir de la Norma Mexicana NMX-R-025-SCFi-2015; Montalvo (2007) y de Román *et al.* (2016) para lo cual se estructuraron y elaboraron seis reactivos. *Productividad diferenciada* fue operacionalizada a partir de Román, Ríos y Traverso (2013) para lo cual se estructuraron y elaboraron cuatro reactivos.

La variable equidad salarial fue operacionalizada a partir de Montalvo (2007) mediante la estructuración y elaboración de tres reactivos. En tanto, la variable corresponsabilidad en la vida familiar fue operacionalizada a partir de De Lemus *et al.* (2008) y de Román *et al.* (2016) según siete reactivos. Por último, la variable *violencia laboral contra las mujeres* fue operacionalizada a partir de los textos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2020), de CNDH (2017), CEDAW (1979) de acuerdo con ocho reactivos.

4. 4. Métodos de estimación

El análisis consistió en el desarrollo de un análisis factorial exploratorio mediante el cual se probaron las propiedades del instrumento y las variables contenidas. Una vez que se probaron las propiedades del instrumento diseñado, el siguiente procedimiento de estimación consistió en determinar su confiabilidad del instrumento y para ello se obtuvo la consistencia interna de cada una de las dimensiones, así como la escala global de cada factor o constructo mediante el alfa de Cronbach.

Para comprobar las hipótesis y determinar si existe un efecto de la desigualdad laboral, la discriminación laboral, los estereotipos de género, la productividad diferenciada, la equidad salarial, la cultura institucional (equidad laboral y autoritarismo) y la corresponsabilidad en la vida laboral en la violencia en mujeres del área de salud en la atención de COVID-19, se llevó a cabo un análisis estadístico de regresión lineal múltiple. Entonces, se estima-

ron las pruebas de normalidad a través de los valores de la asimetría y la curtosis de cada variable y se graficaron los residuos en contra de la variable independiente: no se observó ningún patrón, lo cual manifiesta el supuesto de linealidad. Además, se probaron los estadísticos del factor de inflación de la varianza (FIV) para determinar la presencia de multicolinealidad entre las variables y se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre las variables. Los procedimientos anteriores permitieron verificar la propiedad de hacer un análisis de regresión lineal múltiple como el planteado.

5. RESULTADOS

5. 1. Propiedades del instrumento y los constructos

Los resultados del análisis factorial se obtuvieron según el método de componentes principales con una rotación varimax ortogonal para establecer la estructura factorial del instrumento (Nunnally y Bernstein, 1995) con la finalidad de hacer una evaluación de las escalas de cada una de las variables latentes o constructos. No se encontraron problemas de dimensionalidad en ninguna variable. Dado que todos los datos se recolectaron del mismo instrumento de medida, fue necesario comprobar la presencia del sesgo de la varianza del método común a través del test de un factor de Harman (Konrad y Linnehan, 1995). Los resultados del análisis factorial exploratorio revelan que las variables no pertenecen a un único factor y, por lo tanto, se puede atribuir que la varianza de las variables del estudio se debe a los constructos que se evalúan y no al método de evaluación (Konrad y Linnehan, 1995).

En las estructuras factoriales obtenidas todos los ítems presentaron cargas o saturación superiores a 0.44, criterio a partir del cual se consideran aceptables (Castañeda, Cabrera y Navarro, 2010); sin embargo, por el tamaño de la muestra no son necesariamente significativas y su interpretación se tiene que hacer con cautela. Por otro lado, la varianza explicada es del 80.57%. Además, en este análisis factorial exploratorio se evaluó el índice de adecuación de la muestra de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), donde se obtuvo un valor de 0.78, considerando que un valor aceptable se ubica entre 0.80 y 0.90. La prueba de esfericidad de Bartlett, que contrasta la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones es una matriz de identidad, resultó significativa, con $p = 0.00$, lo que deriva en una adecuación muestral.

En lo referente a la prueba de las dimensiones de cada constructo, el alfa de Cronbach para la variable estereotipos de género es de 0.70 para la variable discriminación laboral es de 0.77, para la variable productividad diferenciada es de 0.92, para la variable cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo) es de 0.70, para la variable igualdad laboral es de 0.91, para la variable cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral) es de 0.86, para la variable corresponsabilidad en la vida laboral es de 0.73 y para la variable violencia laboral contra las mujeres es de 0.90.

5. 2. Estadísticos descriptivos

Como se observa en el cuadro 1, para las ocho variables de la investigación, los respondientes en su mayoría concuerdan en cuanto a la percepción que se tiene de los constructos en estudio. Las medias y las desviaciones estándar son las siguientes: estereotipos de género (media = 5.3; d. e. = 1.1); discriminación laboral (media = 4.6; d. e. = 1.3); productividad diferenciada (media = 5.8; d. e. = 1.1); cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo) (media = 4.8; d. e. = 1.6); igualdad laboral (media = 5.1; d. e. = 1.6); igualdad laboral (media = 4.9; d. e. = 1.4); cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral) (media = 4.8; d. e. = 1.1); corresponsabilidad en la vida laboral (media = 4.8; d. e. = 1.1) y violencia laboral contra las mujeres (media = 4.9; d. e. = 1.1).

CUADRO 1
Estadísticos descriptivos de las variables

Variables	Media	Desviación estándar
Estereotipos de género	5.3	1.1
Discriminación laboral	4.6	1.3
Productividad diferenciada	5.8	1.1
Cultura institucional-autoritarismo	4.8	1.6
Igualdad laboral	4.9	1.4
Equidad salarial	5.1	1.6
Cultura institucional-equidad laboral	4.8	1.1
Corresponsabilidad en la vida laboral	4.8	1.0
Violencia laboral contra las mujeres	4.9	1.1

Fuente: elaboración propia.

5. 3. Análisis de correlación y de regresión lineal múltiple

Para comprobar la relación entre la variable violencia laboral contra las mujeres y las otras siete variables de la investigación, se realizó un análisis de correlación bivariada. En el cuadro 2 se observa la correlación entre la variable dependiente (violencia laboral contra las mujeres) y las variables en estudio, la cual es moderada baja a media alta y estadísticamente significativa ($r = 0.27$ a $r = 0.71$ $p < 0.01$). Por lo tanto, se soportan las hipótesis de la investigación.

CUADRO 2
Matriz de correlación entre variables

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Estereotipos de género (1)	1.00								
Discriminación laboral (2)	0.36**	1.00							
Productividad diferenciada (3)	0.50**	0.34**	1.00						
Cultura institucional-autoritarismo (4)	0.63**	0.35**	0.31**	1.00					
Igualdad laboral (5)	0.47**	0.10	0.17	0.24*	1.00				
Equidad salarial (6)	0.38**	0.07	0.07	0.23*	0.45**	1.00			
Cultura institucional equidad laboral (7)	0.58**	0.04	0.17	0.38**	0.74**	0.5**	1.00		
Corresponsabilidad en la vida laboral (8)	0.42**	-0.04	0.26**	0.10	0.55*	0.44**	0.66**	1.00	
Violencia laboral contra las mujeres (9)	0.55*	0.37**	0.38**	0.71**	0.46**	0.27*	0.48**	0.27*	1.00

Fuente: elaboración propia.

Nota: ** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral). * La correlación es significativa en el nivel 0.05 (bilateral).

Como se puede observar en el cuadro 3, al verificarse el supuesto de normalidad mediante los valores de la asimetría y la curtosis, los valores permitidos se encuentran entre ± 2 (Pérez, 2008). Con la asimetría y la curtosis se comprueba que las variables de la investigación presentan una distribución normal.

Respecto a la multicolinealidad: el valor mostrado del factor de inflación de la varianza (FIV) muestra valores por debajo de 3 (1.34 a 2.92), y la tolerancia mostrada para cada una de las variables independientes se encuentra en un nivel aceptable (0.34 a 0.74) (Martín, Cabero y De Paz, 2008).

CUADRO 3
Pruebas de asimetría y de curtosis para el supuesto de normalidad de las variables

Variables	Asimetría	Curtosis
Estereotipos de género	0.17	-0.48
Discriminación laboral	0.18	-0.85
Productividad diferenciada	-0.85	0.17
Cultura institucional-autoritarismo	-0.26	-0.51
Igualdad laboral	-0.46	0.00
Equidad salarial	-0.45	-0.54
Cultura institucional-equidad laboral	-0.56	0.22
Corresponsabilidad en la vida laboral	-0.94	2.80
Violencia laboral contra las mujeres	-0.16	-0.33

Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados de las pruebas de normalidad y de correlación entre las variables del estudio, se procedió a la estimación del análisis de regresión lineal múltiple para determinar los efectos de las variables independientes sobre la violencia laboral en contra de las mujeres. En el cuadro 4 se presentan los resultados del modelo, el cual es significativo y presenta un $R^2 = 0.63$. Las siete variables independientes del modelo tuvieron un efecto de 63%. De igual forma, es un modelo estadístico significativo ($F = 14.78, p < 0.01$). Con base en estos resultados, se infiere que las siete variables independientes explican más de 60% ($= 0.63$) de la variabilidad de la violencia laboral contra las mujeres. De manera más específica, tres variables presentan un coeficiente beta positivo y significativo: la variable productividad diferenciada ($r = 0.17, p = 0.08$); la variable cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo) ($r = 0.64, p < 0.01$); igualdad laboral ($r = 0.26, p = 0.03$). Por lo anterior, se soportan las hipótesis de la investigación.

CUADRO 4
Análisis de regresión lineal múltiple

Variables independientes	Violencia laboral contra las mujeres (variable dependiente)			
	Coeficientes no estandarizados	Coeficientes tipificados beta	t	Sig.
Estereotipos de género	-0.19	-0.17	-1.28	0.20
Discriminación laboral	0.09	0.09	1.08	0.23
Productividad diferenciada	0.19	0.17	0.08	0.08
Cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo)	0.49	0.64	5.7	0.00
Igualdad laboral	0.23	0.26	2.1	0.03
Equidad salarial	-0.02	-0.03	-0.34	0.73
Cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral)	0.07	0.06	0.44	0.65
Corresponsabilidad en la vida laboral	0.06	0.05	0.44	0.65
R^2	0.79			
R^2 ajustada	0.63			
Anova F.	14.78			
Sig.	0.00			

Nota: $p < 0.01$. Las regresiones incluyen los coeficientes estandarizados beta.

Fuente: elaboración propia.

6. DISCUSIÓN

El personal de salud juega un papel ineludible y esencial en la lucha contra la epidemia que se ha convertido en un serio desafío. En este marco, el objetivo del artículo consistió en determinar en qué medida los estereotipos de género, la discriminación laboral, la productividad diferenciada, la cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo), la igualdad laboral, la cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral) y la corresponsabilidad en la vida laboral influyen en la violencia en mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad por COVID-19. Al respecto, se observa que esta contingencia, inesperada en el mundo, enfatizó que, a pesar de que existen las condiciones “idóneas”, la violencia laboral contra las mujeres está presente en las áreas de atención a la salud.

Se considera que existen construcciones sociales que parecieran racionales, pero que son injustas, pues no describen, explican y comprenden la posición de la mujer. Estas estructuras coadyuvan al mantenimiento de una realidad discriminatoria y así es como los individuos recurren al don o a la deuda (violencia simbólica), siendo este lazo un gesto de generosidad; de este modo, a pesar de que se encuentran estructuras favorables “otorgadas” por el propio sistema y por las instituciones como la igualdad laboral, la equidad laboral, la equidad salarial y la corresponsabilidad de la vida laboral, éstas acrecientan la violencia laboral contra las mujeres. Asimismo, estructuras establecidas como un *habitus* en las organizaciones de salud tales como los estereotipos de género, la discriminación laboral, la productividad diferenciada, la cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo) con mayor razón contribuyen a ese incremento ya que las categorías de percepción del mundo social son el producto de estructuras construidas bajo coacciones estructurales. Estas estructuras están regidas por las condiciones pasadas de su principio generador, pero a su vez, este actuar orientará las prácticas futuras. Por ello, estas prácticas que parecieran “normales” en cualquier organización, en hospitales y clínicas de salud en México están presentes: este trabajo lo constata.

Por lo anterior, este artículo mediante un estudio cuantitativo y con un diseño transeccional –y aunque no es posible establecer una relación de causalidad entre las variables en estudio, ya que la interpretación de la causalidad en el mundo real no se garantiza (Kline, 2005)– con estos resultados se logró una discusión acerca de la influencia de los estereotipos de género, la discriminación laboral, la productividad diferenciada, la cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo), la igualdad laboral, la cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral) y la corresponsabilidad en la vida laboral en la violencia en mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad del COVID-19.

CONCLUSIONES

Se requiere de esfuerzos concentrados para aumentar la conciencia y el conocimiento del problema de la violencia en el lugar de trabajo. La violencia en el lugar de trabajo, ya sea en la atención sanitaria o en cualquier otro lugar, es un problema mundial holístico. El conjunto de estructuras socioculturales permeadas de estereotipos y roles de género reproducen desigualdad y violencia contra las mujeres de manera inmediata. Estas desigualdades y violencias se trasladan y replican en otros entornos separados, pero a la vez vinculados, por ejemplo del entorno familiar, lo que propicia patrones culturales discriminatorios. Sólo al modificar todos los sistemas en los que interactúa la mujer y, por ende, la sociedad, se podrá lograr la autonomía económica, física y de toma de decisiones de las mujeres.

Este panorama es coincidente con lo establecido en la teoría ecológica, la cual establece que el individuo se interrelaciona no sólo en su entorno, sino en entornos inmediatos y dinámicos, por lo que la violencia contra las mujeres deba ser explicada como un fenómeno holístico y con una perspectiva interaccionista.

Esta investigación desafortunadamente comprueba que, además de lo que se enfrentan los trabajadores de la salud (*burnout*, estrés mental, ansiedad, amenazas percibidas, depresión, agotamiento físico, separación de las familias, al dolor de la pérdida de pacientes y colegas y al estigma), las mujeres de esa misma área en la atención de la enfermedad del COVID-19 sufren violencia laboral coincidente con lo establecido también por la CEPAL (2016).

Con estos resultados, este artículo aporta un valor teórico al conocimiento al confirmar una relación positiva y significativa de los estereotipos de género, la discriminación laboral, la productividad diferenciada, la cultura institucional desde la perspectiva de género (autoritarismo), la igualdad laboral, la cultura institucional desde la perspectiva de género (equidad laboral) y la corresponsabilidad en la vida laboral en la violencia laboral en mujeres del área de salud en la atención de la enfermedad del COVID-19, lo cual se sustenta en la teoría ecológica, en la crítica femenina al derecho y en la teoría de la violencia simbólica.

PROSPECTIVA Y LIMITACIONES

Aun y cuando este estudio se basó en datos de corte transversal, futuras investigaciones deben incorporar un estudio longitudinal que pruebe los constructos en diferentes tiempos y demuestre las relaciones sustentadas en la teoría. Aunado a lo anterior, una de las limitantes más importantes fue el tamaño de la muestra que acota la representatividad en lo que se refiere al contexto sociodemográfico y laboral de las personas estudiadas. Se sugiere la aplicación de metodologías cualitativas que permitan complementar la investigación.

IMPLICACIONES PRÁCTICAS

Este artículo proporciona una implicación práctica referente al reto constante al que se enfrenta la sociedad para hacer frente al brote de COVID-19 que plantea diversos desafíos sociales y económicos en todo el mundo, pero es fundamental voltear a ver también a las mujeres del área de salud en la atención de esa enfermedad, que son quienes dan su vida para coadyuvar a contener la pandemia y son además de todo violentadas en el ámbito laboral.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen el conocimiento compartido, así como la dedicación de los árbitros en su revisión que contribuyó fehacientemente a mejorar este artículo.

REFERENCIAS

- Abolfotouh, M. A., Almutaire, A. F., Banimustafa, A. A., & Hussein, M. A. (2020). Perception and attitude of healthcare workers in Saudi Arabia with regard to Covid-19 pandemic and potential associated predictors BMC. *Infectious Diseases*, 20, 719 <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05443-3>
- Ali, S. (2020). Combatting against Covid-19 & misinformation: A systematic review. *Human Arenas*. <https://doi.org/10.1007/s42087-020-00139>.
- Barreto, M. y Heloani, R. (2013). Violencia organizacional: un riesgo no visible, pero objetivo e innegable. *Salud de los Trabajadores*, 21(1), 69-86. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3758/375839306007.pdf>
- Bourdieu, P. (2012). Violence simbolic. *Revista Latina de Sociología*, 2, 1-4.

- Bourdieu, P. (2000). *La dominación masculina*. Barcelona: Anagrama.
- Bourdieu, P. (1987). *Cosas dichas*. Barcelona: Editorial Gedisa.
- Bronfenbrenner, U. (1987). *La ecología del desarrollo humano: cognición y desarrollo humano*. Barcelona: Paidós.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2020). *Ley general de acceso de las mujeres a una vida libre de violencia*. Disponible en legislacion.scjn.gob.mx/Buscador/Paginas/wfOrdenamientoDetalle.aspx?q=WVhKjmhCYz0ufl+8glULlOKRtBAaWgk3wJWlia8xCd3zP+J+u+m8GxYOketZi6x
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2012). *Ley general para la prevención social de la violencia y la delincuencia*. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPSVD.pdf>
- Castañeda, M. B., Cabrera, A. F. y Navarro, Y. (2010). *Procesando datos y análisis estadísticos utilizando SPSS*. Brasil: Edipucrs.
- CEDAW. (1979). *Convención sobre la eliminación de todas las formas de discriminación contra la mujer*. Disponible en http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/100039.pdf
- CEPAL. (2016). Autonomía de las mujeres e igualdad en la agenda de desarrollo sostenible. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40633/4/S1601248_es.pdf
- Chen, B., Li, Q.-X., Zhan, H., Zhu, J. Y., Wu, Y.-H., Xiong, J., Li, F., Wang, H., & Chen, Z.-T. (2020). The psychological impact of COVID-19 outbreak on medical staff and the general public. *Current Psychology*. <https://doi.org/10.1007/s12144-020-01109-0>
- Chersich, M. F., Gray, G., Fairlie, L., Eichbaum, Q., Mayhew, S., Allwood, B., English, R., Scorgie, F., Luchters, S., Simpson, G., Mosalman Haghighi, M., Duc Pham, M., & Rees, H. (2020). COVID-19 in Africa: care and protection for frontline healthcare workers. *Globalization and Health*, 16(46). <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00574-3>
- CNDH. (2017). *Diagnóstico de la participación equilibrada de mujeres y hombres en los cargos de elección popular en México: principales resultados de los procedimientos electorales 2015 y 2016 para la elección de presidencias municipales*. Disponible en http://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/OtrosDocumentos/Doc_2017_050.pdf
- Cook, R. J. y Cusack, S. (2010). *Estereotipos de género: perspectivas legales transnacionales*. Disponible en https://www.law.utoronto.ca/utfl_file/count/documents/reprohealth/estereotipos-de-genero.pdf
- Cooper, C., & Swanson, N. (2002). Workplace violence in the health sector: State of the art. National Institute of Occupational Safety and Health. Retrieved from http://www.who.int/violence_injury_prevention/violence/activities/workplace/WVstateart.pdf
- Cordón, M. y Corrales, R. (2010). *Material de corresponsabilidad en el ámbito familiar*. Instituto Andaluz de la Mujer. Disponible en http://www.educarenigualdad.org/media/pdf/uploaded/old/Mat_208_AMPA_corresp.pdf
- Corsi, J. (1994). Una mirada abarcativa sobre el problema de la violencia familiar, en J. Corsi (comp.), *Violencia familiar, una mirada interdisciplinaria sobre un grave problema social*. México: Paidós.
- Creswell, J. (2009). *Research Design. Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. London: Sage Publications.
- De La Hoz, J. (2017). Estilos de gestión y cultura institucional en las organizaciones escolares. *Encuentros*, 15(1), 61-75.
- De Lemus, S., Moya, M., Bukowski, M., & Lupiañez, J. (2008). Activación automática de las dimensiones de competencia y sociabilidad en el caso de los estereotipos de género. *Psicológica*, 29(2), 115-132.

- Döring, N. (2020). How is the COVID-19 pandemic affecting our sexualities? An overview of the current media narratives and research hypotheses. *Archives of Sexual Behavior*. <https://doi.org/10.1007/s10508-020-01790-z>
- Estrella, V. (2020, 9 de marzo). Brecha salarial en el mercado laboral persiste en los estados. *El Economista*. Disponible en <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Brecha-salarial-en-el-mercado-formal-persiste-en-los-estados-20200309-0035.html>
- Facchi, A. (2005). El pensamiento feminista sobre el derecho. Un recorrido desde Carol Gilligan a Tove Stang Dahl. *Academia. Revista sobre Enseñanza del Derecho de Buenos Aires*, 3(6), 27-47.
- Facio, A., & Fries, L. (1999). Feminismo, género y patriarcado. *Academia. Revista sobre Enseñanza del Derecho de Buenos Aires*, 3(6), 259-294.
- Felice, C., Tanna, G. L., Zanusi, G., & Grossi, U. (2020). Impact of COVID-19 outbreak on healthcare workers in Italy: Results from a national E-survey. *Journal of Community Health*, 45, 675-683. <https://doi.org/10.1007/s10900-020-00845-5>
- Fernández, J. L. (2005). La noción de violencia simbólica en la obra de Pierre Bourdieu: una aproximación crítica. *Cuadernos de Trabajo Social*, 18, 7-31. Disponible en <http://www.enlinea.cij.gob.mx/Cursos/Hospitalizacion/pdf/PierreBourdieu.pdf>
- Geropoulos, G., & Matenoglou, E. (2020). Impact of coronavirus disease 2019 on healthcare workers: Beyond the risk of exposure. *Postgraduate Medical Journal*, 1-3. <https://doi.org/10.1136/postgrad-medj-2020-137988>
- Gold, J. (2020). *The Covid-19 crisis too few are talking about: Health care workers' mental health*. *STAT News*. Retrieved from <https://www.statnews.com/2020/04/03/the-covid-19-crisis-too-few-are-talking-about-health-care-workers-mental-health/>.
- Gutiérrez, A. B. (2004). Poder, hábitos y representaciones: recorrido por el concepto de violencia simbólica en Pierre Bourdieu. *Revista Complutense de Educación*, 15(1), 289-300. <https://doi.org/10.5209/RCED>
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., & Black, W. (2008). *Análisis multivariante* (quinta edición). Madrid: Prentice Hall.
- INMUJERES (Instituto Nacional de las Mujeres). (2003). *Las mexicanas y el trabajo II*. Disponible en http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/100500.pdf
- INMUJERES (Instituto Nacional de las Mujeres). (2002). *Cultura institucional y género en la administración pública*. Disponible en http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/100431.pdf
- Khanal, P., Devkota, N., Dahal, M., Paudel, K. & Joshi, D. (2020). Mental health impacts among health workers during COVID-19 in a low resource setting: A cross-sectional survey from Nepal. *Globalization and Health*, 16(89). <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00621-z>
- Kline, R. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.
- Konrad, A. M., & Linnehan, F. (1995). Formalized HRM structures: Coordinating equal employment opportunity or concealing organizational practice? *Academy of Management Journal*, 38 (3), 787-820. <https://doi.org/10.2307/256746>
- Leather, P., Brady, C., Lawrence, C., Beale, D., & Cox, T. (1999). *Work-related violence: Assessment and intervention*. London: Routledge.
- Leedy, P., & Ormrod, J. E. (2001). *Practical research. Planning and design* (7th ed.). USA: Merrill Prentice Hall.
- Martín, Q., Cabero, A., De Paz, Y. R. (2008). *Tratamiento estadístico de datos con SPSS*. Madrid. Thomson Learning.

- Méndez, J., Montoya, C. y Boyero, M. (2017). Trabajo digno y decente: una mirada desde la O, T para la generación de indicadores para las PYME mexicanas y colombianas. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, 21(2), 84-106.
- Mendoza, J. y García, K. (2009). Discriminación salarial por género en México. *Problemas del desarrollo*, 40(156), 78-99.
- Miesen, A. I., Raaijmakers, D., & Grift, T.C. (2020). "You have to wait a little longer": Transgender (mental) health at risk as a consequence of deferring gender-affirming treatments during COVID-19. *Archives of Sexual Behavior*, 49(5), 1395-1399 <https://doi.org/10.1007/s10508-020-01754-3>
- Monreal-Gimeno, M. C., Martínez-Ferrer, B. y Povedano, A. & (2013). Modelo ecológico de los factores asociados a la violencia de género en parejas adolescentes. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 5(3), 105-114.
- Montalvo, R. J. (2007). Igualdad laboral y no discriminación en el contexto mexicano. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, 40, 229-242.
- Newman, C., Vries, D. H., Kanakuz, J. & Ngendahimana, G. (2011). Workplace violence and gender discrimination in Rwanda's health workforce: Increasing safety and gender equality. *Human Resources for Health*, 9(19). Retrieved from <http://www.human-resources-health.com/content/9/1/19>
- NOM-025 (2015). Norma oficial mexicana NMX-R-025-SCFI-2015 en igualdad laboral y no discriminación. Disponible en <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-r-025-scfi-2015.pdf>
- Nunnally J. C. y Bernstein, I. J. (1995). *Teoría psicométrica*. México: McGraw Hill.
- OMS. (2019). *Burn-out an "occupational phenomenon": International Classification of Diseases*. Disponible en <https://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-an-occupational-phenomenon-international-classification-of-diseases>
- Olsen, F. (2009). El sexo del derecho, en Ávila, R., Salgado, J., Vallares, L. (comps.), *El género en el derecho. Ensayos críticos*. (137-156). Quito: Serie Justicia y Derechos Humanos.
- ONU. (2006). *Estudio a fondo sobre todas las formas de violencia contra la mujer*. Disponible en <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2016/10742.pdf>
- ONU. (1993). *Declaración sobre la eliminación de la violencia contra la mujer. Definición de violencia contra la mujer*. Disponible en <http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2018.pdf>
- ONU Human Rights. (2020). *Los estereotipos de género y su utilización*. Derechos Humanos Oficina del Alto Comisionado. Disponible en <https://www.ohchr.org/sp/issues/women/wrgs/pages/genderstereotypes.aspx>
- Otu, A., Charles, C. H., & Yaya, S. (2020). Mental health and psychosocial well-being during the COVID-19 pandemic: The invisible elephant in the room. *International Journal of Mental Health Systems*, 14(38). <https://doi.org/10.1186/s13033-020-00371-w>
- Pérez, C. (2008). *Minería de datos: técnicas y herramientas*. Alicante, España: Ediciones Paraninfo.
- Ramos, E. (2005). *Violencia en la familia: un modelo de atención integral*. Memoria Puebla. Reunión Internacional de Atención y Prevención de la Violencia hacia las Mujeres: un enfoque multidisciplinario. Disponible en http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/100873.pdf
- Ricoy, R. (2015). Teorías jurídicas feministas, en J. L. Fabra. y Núñez, A. (coord.), *Enciclopedia de Filosofía y Teoría del Derecho*, 1, 459-499. México: UNAM.

- Román, M., Ríos, A. y Traverso, J. (2013). Barreras de género en el desarrollo profesional de mujeres técnicas de la construcción. *Revista de la Construcción*, 12(1), 87-99. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-915X2013000100009&lng=es&nrm=iso
- Román, R., Domínguez, S. E., Saucedo, M. S. y Tanori, J. (2016). Validación de un instrumento sobre cultura de género en instituciones de educación, salud e investigación en el noroeste de México. *Revista Estudios de Género La Ventana*, 44, 83-108. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-943620160002000083
- Şahin, M. K., Aker, S., Şahin, G., & Karabekiroğlu, A. (2020). Prevalence of depression, anxiety, distress and insomnia and related factors in healthcare workers during COVID-19 Pandemic in Turkey. *Journal of Community Health*. <https://doi.org/10.1007/s10900-020-00921-w>
- Sánchez-Velázquez, O. (2017). Influencia de los estereotipos de género asociado con la violencia contra las mujeres. *Revista entorno*, 64, 20-27.
- Shaukat, N., Mansoor, D., & Razzal, J. (2020). *International Journal of Emergency Medicine*, 13(40). <https://doi.org/10.1186/s12245-020-00299-5>
- Si, M. Y., Jiang, Y., Wang, W. J., Gu, X. F., Ma, L., Li, J., Zhang, S. K., Ren, Z. F., Ren, R., Liu, Y. L., & Qiao, Y. L. (2020). Psychological impact of COVID-19 on medical care workers in China. *Infectious Diseases of Poverty*, 9(113). <https://doi.org/10.1186/s40249-020-00724-0>
- Slakoff, D. C., Aujla, W., & PenzeyMoog, E. (2020). The role of service providers, technology, and mass media when home isn't safe for intimate partner violence victims: Best practices and recommendations in the era of COVID-19 and beyond. *Archives of Sexual Behavior*, 49, 2779-2788. <https://doi.org/10.1007/s10508-020-01820-w>
- Smith, R. (2020, May 20). Lessons from a different war for preventing moral injury among clinicians treating Covid-19. *STAT News*. Retrieved from <https://www.statnews.com/2020/04/01/lessons-different-war-protecting-clinicians-moral-injury/>
- Talaei, N., Varahram, M., Jamaati, H., Salimi, A., Attarchi, M., Kazempour Dizaji, M., Sadr, M., Hassani, S., Farzanegan, B., Monjazebi, F., & Mohammad Seyedmehdi, S. (2020). Stress and burnout in health care workers during COVID-19 pandemic: Validation of a questionnaire. *Journal of Public Health: From Theory to Practice*. <https://doi.org/10.1007/s10389-020-01313-z>
- Vacca, L. y Coppolecchia, F. (2012). Una crítica feminista al derecho a partir de la noción de biopoder de Foucault. *Páginas de Filosofía*, 13(16), 60-75. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5037660>
- Vázquez, Á., & Urbiola, A. (2014). El género como una perspectiva para el análisis de las organizaciones. *Iztapalapa. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 77, 159-189.
- Villafañe, J. (1993). Imagen positiva. *Gestión estratégica de la imagen de las empresas*. Madrid: Pirámide.
- Wu, J. T., Leung, K., & Leung, G. M. (2020). Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: A modelling study. *Lancet*, 395, 689-697. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30260-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30260-9)

NOTAS

- [1] Según la OMS (2019) , el burnout es un factor que impacta en el estrés del trabajador derivado de un cansancio extremo asociado con su actividad laboral.

ANEXO

Variable		Ítems o reactivos
Esteriotipos de género	Durante la atención de enfermos con COVID-19	Sólo al personal masculino se le permitió la toma de decisiones
		La mujer debe estar dispuesta a aceptar la autoridad del hombre en el trabajo
		Se considera que los hombres son más hábiles a la hora de manejar el instrumental médico y atender a los pacientes
	Durante la pandemia, se considera que el avance científico pareciera que lo han hecho los hombres	Para enfrentar la pandemia, los cursos y talleres de capacitación fueron iguales tanto para el personal femenino como para el masculino
		Ante la contingencia sanitaria, los pacientes y familiares confían por igual en el personal de salud femenino y masculino para el tratamiento a enfermos de COVID-19
Discriminación laboral	En su centro de trabajo, durante la pandemia por COVID-19	Las mujeres embarazadas enfrentan un clima laboral hostil
		Tanto el personal femenino como el masculino que se hace cargo de personas o familiares que requieren cuidados enfrentan por igual un clima laboral hostil
		Los varones independientemente de ser población vulnerable (hipertensos, diabéticos) tuvieron que atender pacientes con COVID-19.
	Usted considera que durante la contingencia de salud se llevaron a cabo prácticas de intimidación y maltrato por igual entre el personal femenino y masculino	Es natural en mi trabajo que las decisiones importantes las tomen los hombres
		Las mujeres, independientemente de ser población vulnerable (por ejemplo, estar embarazada, ser hipertensa, ser diabética) tuvieron que atender pacientes con COVID-19.
Productividad diferenciada	Durante la atención a pacientes con COVID-19	Se considera que las mujeres cometen un mayor número de errores en las actividades laborales por atender inmediatamente cuestiones de tipo familiar
		Se considera que las mujeres tienen un rendimiento menor por no concentrar todas sus energías en una sola actividad (por ejemplo por atender a la familia).
		Se considera que las mujeres dejan inconclusas sus actividades laborales por atender sus actividades familiares.
		Se considera que las mujeres comenten un mayor número de errores en las actividades laborales por distraerse en cuestiones de tipo familiar
Cultura institucional desde la perspectiva de género-autoritarismo	Las autoridades en mi área laboral intimidan o maltratan a las personas por su condición de mujeres u hombres	
	Durante la atención de enfermos con COVID-19 sólo el personal masculino de manera inmediata ocupó cargos de toma de decisiones	
Igualdad laboral	Durante la atención de enfermos con COVID-19	El trato en su área laboral fue el mismo tanto para mujeres como para hombres
		Se reconocieron en su área laboral las mismas oportunidades y derechos tanto para mujeres como para hombres.
		Fueron las mismas condiciones laborales para mujeres y hombres
		Hubo igualdad de oportunidades laborales tanto para hombres como para mujeres
		Se otorgan permisos tanto para mujeres y hombres considerando las necesidades familiares.
		En mi centro de trabajo el personal femenino del área de salud fue rotado en igualdad de circunstancias que el personal masculino

Variable	Ítems o reactivos
Cultura institucional con perspectiva de género-equidad laboral	Durante la atención a los enfermos con COVID-19 Se respeta por igual la autoridad de las jefas como de los jefes El tiempo de descanso otorgado al personal de salud fue igual tanto para el personal femenino como masculino
	Los documentos oficiales de información del COVID-19 que se emitieron, utilizaron y promovieron un lenguaje e imágenes que toman en cuenta las necesidades tanto del personal masculino como femenino
	Se respeta por igual la opinión sobre el diagnóstico médico y el tratamiento (del COVID-19) tanto del personal femenino como masculino
	Son iguales las actividades sanitarias de atención a pacientes con COVID-19 tanto para el personal femenino como masculino
	Las mujeres y los hombres que ocupan el mismo puesto atienden por igual a los enfermos con COVID-19
	Los espacios de recreo y de descanso durante la atención por COVID-19 fueron los mismos tanto para el personal femenino como masculino
	Considera que hubo diferencias en el otorgamiento de equipos de protección para atender a pacientes con COVID-19 entre el personal femenino y masculino
	Ante la contingencia sanitaria, considera que tanto el personal de salud masculino y femenino han tenido acceso por igual a atención psicológica para prevenir o tratar algún daño psicosocial tales como: estrés, burnout, crisis nerviosas
Corresponsabilidad en la vida laboral	El horario de trabajo establecido en mi centro de trabajo derivado de la contingencia de salud fue el mismo tanto para el personal femenino como para el masculino
	El horario de trabajo que se tiene que cumplir durante la contingencia de salud permite el acercamiento con la familia de la misma manera entre el personal de salud femenino como masculino
	El personal de salud femenino eludió el contacto familiar para evitar poner en riesgo la salud de su familia
	Fue común que tanto el personal de salud tanto femenino como masculino tuviera contacto familiar.
	Se respetó el permiso o licencia por maternidad
	Durante la atención a pacientes con Covid-19 Se otorgaron permisos licencia por paternidad En mi centro de trabajo sí se otorgan permisos tanto para el personal masculino y femenino por igual para atender situaciones familiares como cuidado de hijas e hijos, personas enfermas o personas adultas mayores
Violencia laboral contra las mujeres	Se presentan elementos culturales, sociales, políticos, económicos y normativos que permiten directa o indirectamente la discriminación por razones de género
	Se presentan acciones o conductas basadas en género que causan daño o sufrimiento físico, sexual o psicológico a las mujeres
	Se ejercen por las personas que tienen un vínculo laboral, independientemente de la relación jerárquica, actos u omisiones de abuso de poder que dañan la autoestima, salud, integridad, libertad y seguridad de las mujeres
	Se ejercen por las personas que tienen un vínculo laboral, independientemente de la relación jerárquica, acciones que impiden el desarrollo laboral de las mujeres.
	Se respeta la permanencia de las mujeres
	Se descalifica el trabajo realizado por las mujeres Se amenaza, se intimida o se humilla a las mujeres Se obstaculiza o impide el goce y ejercicio de los derechos humanos de las mujeres



Tuberculosis en tiempos de COVID-19: cambios y oportunidades

Urbán-Solano, Alexia; Aguilar-Durán, Yerany; Flores-Gonzalez, Julio; Chavéz-Galán, Leslie

Tuberculosis en tiempos de COVID-19: cambios y oportunidades

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 29, núm. 4. Número especial “SARS-CoV-2”, 2022 | e179

Espacio del Divulgador

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Urbán-Solano, A., Aguilar-Durán, Y., Flores-Gonzalez, J. y Chavéz-Galán, L. (2021). Tuberculosis en tiempos de COVID-19: cambios y oportunidades. *CIENCIA ergo-sum*, 29(4). Número especial “SARS-CoV-2”. <https://doi.org/10.30878/ces.v29n4a2>

Tuberculosis en tiempos de COVID-19: cambios y oportunidades

Tuberculosis in times of COVID-19: Challenges and opportunities

Alexia Urbán-Solano

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias "Ismael Cosío Villegas", México

alexursol25@outlook.com

 <http://orcid.org/0000-0002-0108-490X>

Recepción: 28 de enero de 2022

Aprobación: 30 de marzo de 2022

Yerany Aguilar-Durán

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias "Ismael Cosío Villegas", México

haduran.yerany@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-8373-3925>

Julio Flores-Gonzalez

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias "Ismael Cosío Villegas", México

jfloresgl707@alumno.ipn.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-4707-718X>

Leslie Chavéz-Galán

Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias "Ismael Cosío Villegas", México

lchavez_galan@iner.gob.mx, lchavezgalan@gmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-2334-0361>

RESUMEN

Se discute cómo el proyecto End TB, que planteaba erradicar la tuberculosis para 2030, se ha visto afectado por atender patologías emergentes; en consecuencia, su tasa de infección y mortalidad incrementó en 2021. Aunque la atención de la comunidad científica está centrada en COVID-19, no debe olvidarse a la tuberculosis. Ambas patologías muestran importantes similitudes, las cuales permiten sugerir que la inversión en la investigación conjunta puede aprovecharse para el desarrollo de nuevas estrategias diagnósticas y terapéuticas. Analizar la tuberculosis, enfermedad infecciosa que es un problema de salud pública, en el contexto de la pandemia por COVID-19 ayuda a evidenciar las carencias de los sistemas de salud en el mundo.

PALABRAS CLAVE: tuberculosis, enfermedades infecciosas, COVID-19, epidemiología.

ABSTRACT

This study discusses how the endTB project, which had the aim to eradicate tuberculosis by 2030, has been affected by addressing emerging pathologies; consequently, an increase in the rate of infection and mortality by tuberculosis was reported in 2021. Although the scientific community focuses on COVID-19, we cannot forget tuberculosis. Both pathologies show important similarities, which suggest that investment in research in both study fields can be used to develop new diagnostic and therapeutic strategies for both pathologies. The analysis of tuberculosis, an infectious disease that is a public health problem worldwide, under the COVID-19 context is helpful to highlight the shortcomings of health systems worldwide.

KEYWORDS: Tuberculosis, infectious diseases, COVID-19, epidemiology.

INTRODUCCIÓN

A finales de 2019 se reportaron los primeros casos de una infección pulmonar atípica, que fue denominada COVID-19 (del inglés *coronavirus disease 2019*). El virus responsable de esta infección se conoce como SARS-CoV-2 (del inglés *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*). La rápida propagación en territorio mundial llevó a la Organización Mundial de la Salud (OMS) a declarar esta enfermedad como pandemia en marzo de 2020 (OMS, 2020c; Zhu *et al.*, 2020).

Hoy día, no existe un tratamiento específico para contrarrestar la infección por SARS-CoV-2; por ello, es indispensable mantener acciones como el distanciamiento físico (de al menos un metro) y el uso de mascarilla y protección ocular para limitar su esparcimiento. Asimismo, completar el esquema de vacunación en las personas es un paso fundamental para un mejor control de la pandemia (Chu *et al.*, 2020). Las medidas sanitarias implementadas han restringido diferentes aspectos de la vida cotidiana de los seres humanos al plantear desafíos en materia económica, social y de salud. Aunado a esto, la inequidad global de acceso a las jornadas de vacunación y la aparición de nuevas variantes compromete los logros hasta ahora alcanzados (Abdool Karim & de Oliveira, 2021). Un ejemplo es África, donde apenas el 11% de la población ha recibido una dosis de la vacuna contra COVID-19 (Mathieu *et al.*, 2021).

COVID-19 es en la actualidad el centro de atención en materia de salud pública. En el panorama mundial se han detenido programas para atender otras enfermedades infecciosas como es el caso de la tuberculosis (TB) (Silva *et al.*, 2021). Los objetivos del proyecto mundial para erradicar la TB (End TB) se han visto comprometidos y también la reducción de costos de tratamientos y estudios diagnósticos (OMS, 2015). En consecuencia, el último *Informe mundial sobre la tuberculosis* de la OMS menciona por primera vez en una década incremento en la mortalidad por TB en un 8.33% respecto a 2019 (OMS, 2021a). Hasta el 12 de enero de 2022 se reportaron 312 173 462 casos de infección y 5 501 000 muertes por COVID-19 en todo el mundo (OMS, 2022a). En contraste, se calcularon 9 870 000 casos nuevos de TB y 1 514 000 muertes ocasionadas por esta enfermedad en 2020 (OMS, 2021a). Las regiones con mayor afectación por ambas enfermedades se muestran en la figura 1.

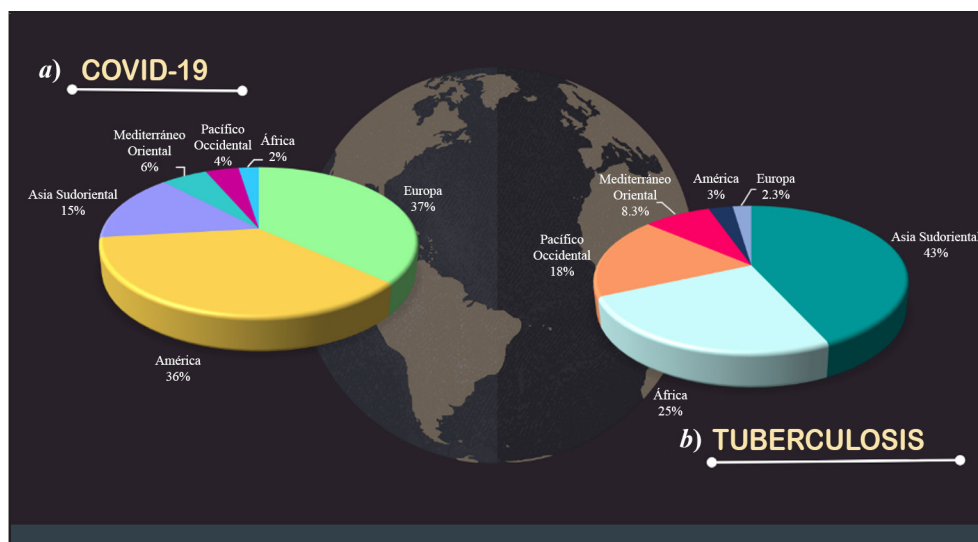


FIGURA 1

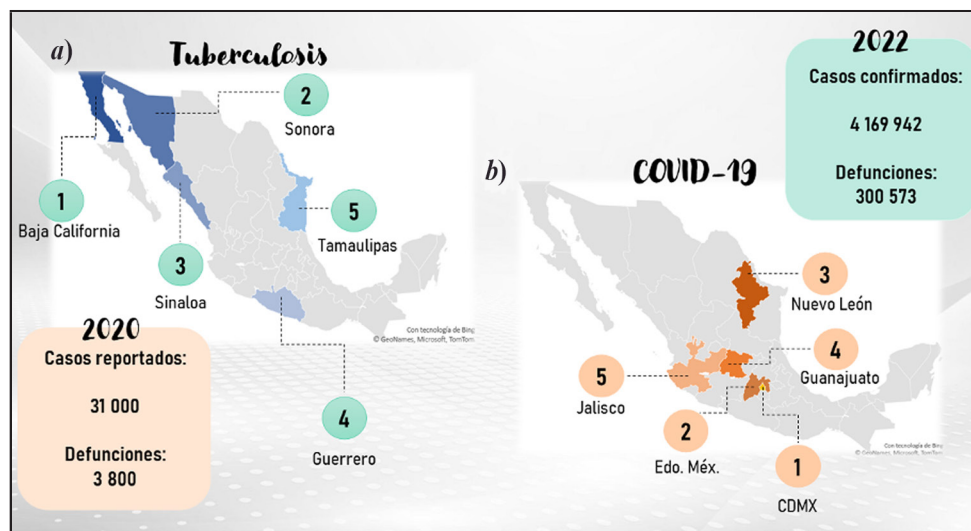
Distribución geográfica de casos de COVID-19 y tuberculosis durante 2020

Fuente: elaboración propia a partir de datos publicados por la OMS (OMS, 2021a, 2022a).

Nota: se muestra la frecuencia de distribución del número de casos positivos a a) COVID-19 y b) tuberculosis por región geográfica durante 2020.

En 2020 México reportó más de 31 000 casos nuevos de TB y se le atribuyeron 3 800 muertes (OMS, 2020a). Los estados de Baja California, Sonora, Sinaloa, Guerrero y Tamaulipas fueron los más afectados por mortalidad asociada a TB (mapa 1a) (Secretaría de Salud, 2021). Respecto a COVID-19, hasta el 3 de enero de 2022, dio a conocer 4 169 942 casos totales confirmados y 300 573 defunciones (OMS, 2022a). Los principales estados afectados fueron la Ciudad de México, Estado de México, Nuevo León, Guanajuato y Jalisco (mapa 1b) (Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, 2022).

COVID-19 representa un reto social, político y académico. Además, una vertiente que se debe considerar es la repercusión a largo plazo y su impacto en el control de otras enfermedades tanto emergentes como establecidas.



MAPA 1

Distribución geográfica de los estados con mayor incidencia de tuberculosis y de COVID-19 en México

Fuente: elaboración propia a partir de datos publicados por el gobierno mexicano (Secretaría de Salud, 2021; Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, 2022).

1. COVID-19 Y TB: SIMILITUDES Y DIFERENCIAS

La TB y el COVID-19 son enfermedades de origen infeccioso que afectan la calidad de vida de las personas. Aunque comparten muchas similitudes, también exhiben notables diferencias. Por ejemplo, la TB es causada por una bacteria llamada *Mycobacterium tuberculosis* (*M. tuberculosis*) (CDC, 2016b), mientras que el COVID-19 es ocasionado por el virus denominado coronavirus SARS-CoV-2 (OMS, 2021b). A continuación se discuten con mayor detalle y en la figura 2 se presenta un comparativo de estas similitudes y diferencias.

Ambos agentes patógenos afectan las vías respiratorias y se transmiten de persona a persona principalmente a través del aire. Cualquier persona infectada al toser, estornudar, gritar o al hablar libera microgotas que contienen a los agentes patógenos, las cuales son inhaladas por un segundo sujeto (Meyerowitz *et al.*, 2021; Nardell, 2016). La cercanía, duración de la exposición y ventilación del espacio cuando ocurre el contagio son algunos de los factores más importantes que influyen en la probabilidad de transmisión de aerosoles infecciosos que pueden permanecer suspendidos en el aire hasta por horas (CDC, 2016a; Meyerowitz *et al.*, 2021; Nardell, 2016).

Existen factores de riesgo que aumentan la severidad y mortalidad de COVID-19 como edad avanzada, sexo masculino y presencia de comorbilidades como diabetes, hipertensión, obesidad o afecciones cardíacas (Li *et al.*, 2021). Para la TB, los factores de riesgo para el desarrollo o reactivación de la infección son el VIH (virus de la inmunodeficiencia humana), desnutrición, diabetes, enfermedad renal crónica o alcoholismo; también son susceptibles los menores de 5 años, cuyo sistema inmunológico no ha alcanzado la madurez suficiente. Además, también se asocia a factores socioeconómicos como residir en una región endémica de TB, ser trabajador de la salud, vivir en situación de pobreza, tener una alimentación deficiente, así como habitar espacios de vivienda reducidos con numerosos habitantes y escasa ventilación (Narasimhan *et al.*, 2013). En particular, personas con un inadecuado funcionamiento del aparato respiratorio promovido por fumar o padecer alguna enfermedad respiratoria crónica son propensas a contraer ambas enfermedades (Li *et al.*, 2021; Narasimhan *et al.*, 2013).

Una clara diferencia que presentan estas enfermedades es el tiempo de evolución de la enfermedad. La infección por COVID-19 puede tardar entre 5 a 14 días para presentar síntomas clínicos; en cambio, la TB tarda meses o años en manifestarse (Behr *et al.*, 2018; Cheng *et al.*, 2021).

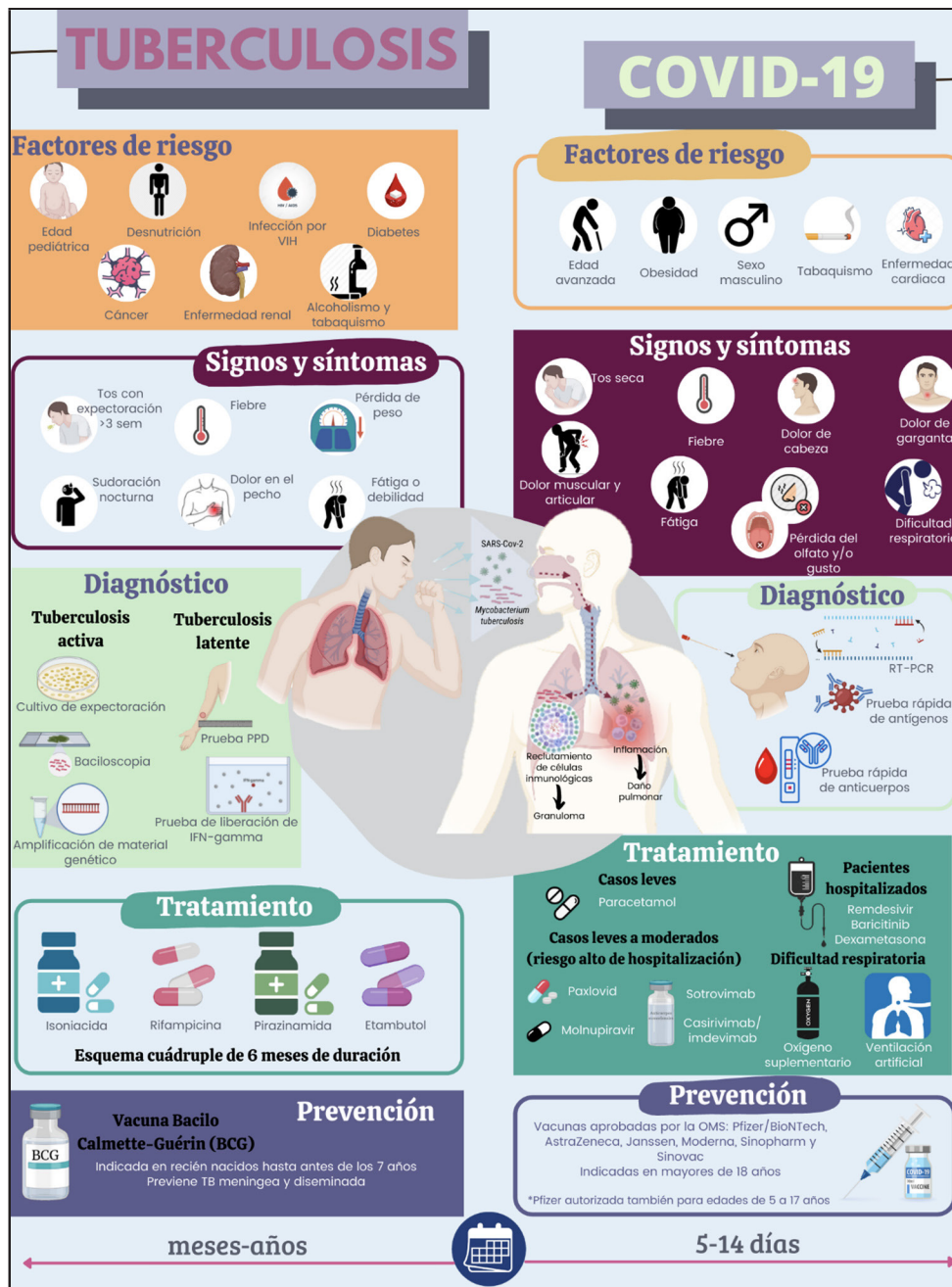


FIGURA 2

Características clínicas asociadas a la TB y al COVID-19

Fuente: elaboración propia.

La respuesta inmunológica que desencadena cada patógeno también presenta contrastes entre estas enfermedades. Mientras que el principal problema que induce *M. tuberculosis* es inhibir la respuesta inmunológica del huésped con la finalidad de persistir de manera indefinida, SARS-CoV-2 desencadena reacción inflamatoria descontrolada e induce daño exacerbado al tejido del hospedero.

Aunque ambas patologías infectan primordialmente al pulmón, los mecanismos utilizados por el patógeno para establecerse muestran diferencias. Una vez en pulmón, SARS-CoV-2 ingresa a un tipo de células pulmonares denominadas *neumocitos tipo II* y, utilizando la maquinaria celular, reproduce su material genético para multiplicarse e infectar otras células. El material genético del virus es identificado por células del sistema

inmunológico, las cuales se activan y secretan proteínas inflamatorias llamadas *citocinas*, moléculas que en principio tienen la función de activar a otras células para eliminar al virus o a células infectadas. Sin embargo, en el contexto de COVID-19 hay una alteración de los mecanismos de regulación inmunológica que favorecen un proceso inflamatorio exagerado conocido como *tormenta de citocinas*. Este proceso de inflamación no permitirá el adecuado paso de oxígeno hacia la sangre, además de generar un daño pulmonar que deja cicatrices en el tejido (López Pérez *et al.*, 2020).

Por otro lado, *M. tuberculosis* inhibe funciones de células del sistema inmunológico para multiplicarse dentro de ellas. Durante la infección inicial, una vez que las células reconocen a *M. tuberculosis* se activan y secretan citocinas con el fin de destruir a las bacterias y reclutar células especializadas en este proceso. Sin embargo, si no se logra la eliminación de la bacteria, el último recurso del sistema inmunológico es la formación de un complejo multicelular nombrado *granuloma* cuyo fin es contener a la micobacteria. El granuloma actúa como un reservorio, pues su función principal es contener más que eliminar (Chai *et al.*, 2020). Dentro del granuloma se encuentran micobacterias en estado inactivo, es decir, sin multiplicarse, lo que se conoce como infección latente, que se caracteriza por la ausencia de síntomas clínicos. Pero en este estado el hospedero queda susceptible a que, en respuesta a algún estímulo externo que modifique la función o número de las células del sistema inmune, *M. tuberculosis* pase a un estado activo en el que se multiplique e infecte otras células e incluso otras regiones del pulmón y se genere una TB activa (OMS, 2018).

Un síntoma cardinal en ambas patologías es la tos, pero presenta diferencias clínicas que hace que cada enfermedad tenga tos característica. En la TB, la tos es intensa, de tres o más semanas de duración, que se acompaña de expectoración (flema) y/o sangre. Otros síntomas durante la TB son el dolor en el pecho, la debilidad o fatiga, pérdida de peso, falta de apetito, escalofríos, fiebre y sudoración nocturna (CDC, 2016b). Por otro lado, la tos característica de COVID-19 es seca, y se presentan otros síntomas habituales como fiebre, dolor de cabeza, dolor de garganta, cansancio, dolor muscular y de articulaciones, escurrimiento nasal, pérdida del gusto y/o del olfato, náusea, vómito, diarrea, erupciones cutáneas y, en casos más graves, dificultad respiratoria (OMS, 2021b).

Uno de los métodos aceptados para el diagnóstico de ambas patologías es la prueba RT-PCR (*Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction*), que consiste en el reconocimiento del material genético de cada microorganismo. Para TB pulmonar se requiere una muestra de expectoración obtenida mediante la tos o por lavado broncoalveolar y para COVID-19 se necesita una muestra de hisopado nasal y orofaríngeo. Aunque en ambos casos la toma de muestra representa incomodidad al paciente, tienen la ventaja de detectar el microorganismo desde cantidades muy pequeñas, incluso el resultado se obtiene en cuatro u ocho horas. En el caso de TB, además, se identifican cepas resistentes a tratamiento farmacológico. La desventaja es el alto costo, lo que limita su accesibilidad y distribución en el mundo (OMS, 2020, 2021b). La búsqueda de la micobacteria también se realiza mediante técnicas como cultivo de expectoración en medio sólido o líquido, siendo el estándar de oro por su alta sensibilidad, pero con desventaja en el tiempo en el que se obtienen los resultados (en promedio de tres a cuatro semanas). Otro método diagnóstico es la identificación de la bacteria por microscopía, que requiere de un tiempo menor, aunque también tiene menor sensibilidad (Alcaide, 2017).

Para detectar TB latente (TBL) no existe una prueba 100% confiable ni aceptada en su totalidad. Una de las que se utilizan en la actualidad es la prueba de la tuberculina o prueba cutánea de derivado proteico purificado (PPD), que consiste en la administración de proteínas de micobacteria en la piel para evaluar la respuesta inmune celular. Sin embargo, las proteínas utilizadas no son específicas de *M. tuberculosis*, por lo que la especificidad es cuestionable, ya que sujetos con infecciones y/o contacto con otras micobacterias pueden dar positivo. Otra prueba es el ensayo de liberación de interferón gamma o IGRA (Interferon-Gamma Release Assay) para medir la cantidad de interferón gamma producido por células de circulación sanguínea al estar en contacto con proteínas específicas de *M. tuberculosis*. Algunas limitaciones están asociadas dependiendo del estado inmunológico del paciente, origen étnico o la aplicación previa de la vacuna BCG (bacilo de Calmette-Guérin) (CDC, 2016c).

Para el diagnóstico de COVID-19 es posible recurrir al uso de pruebas rápidas y conseguir un resultado en pocos minutos, la cual consiste en identificar proteínas del virus en una muestra de hisopado nasal o la presencia de anticuerpos contra el virus en la sangre (OMS, 2021b). En ambos padecimientos es posible que se requieran pruebas radiológicas como radiografías de tórax o tomografía computarizada de pulmón para reafirmar el diagnóstico y/o establecer la etapa y gravedad de la enfermedad.

Los tratamientos para cada enfermedad son distintos por completo debido a la naturaleza de los agentes etiológicos. Aunque no contemos con una vacuna 100% eficaz o tratamiento que prevenga las infecciones por *M. tuberculosis*, la TB es tratable y curable con un régimen especial de antibióticos. Algunos de los fármacos de elección son rifampicina, isoniacida, pirazinamida y etambutol, que se encargan sobre todo de evitar la formación de la pared celular de la micobacteria o inhibir enzimas especializadas en la replicación del material genético. En la actualidad hay incremento de casos de TB resistentes a estos fármacos; este grupo de pacientes requiere de medicamentos llamados *de segunda línea*, tales como levofloxacino/moxifloxacino, linezolid, bedaquiline, cicloserina y clofazimina (OMS, 2020b).

A la fecha, no existe un régimen estandarizado para tratar al COVID-19. El tratamiento para los casos leves sólo tiene el fin de aliviar los síntomas por lo que se utilizan antiinflamatorios no esteroideos, como paracetamol. Desde hace poco, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) autorizó el uso de emergencia de ciertos fármacos cuando va de leve a moderado. Por un lado, se han aprobado antivirales que son administrados por vía oral; uno es el Paxlovid, el cual contiene nirmatrelvir que inhibe la replicación del SARS-CoV-2, y el otro ritonavir, que retrasa la descomposición del nirmatrelvir para que se mantenga en el organismo por más tiempo; este medicamento puede usarse en pacientes adultos y pediátricos de 12 años o más (FDA, 2021a). Se aprobó también el molnupiravir, encargado de introducir errores en el código genético del virus, y sólo puede utilizarse en pacientes mayores de 18 años (FDA, 2021b). Por otro lado, la OMS ha recomendado condicionalmente en pacientes con alto riesgo de hospitalización, el uso de anticuerpos monoclonales que se unen a la proteína *spike* del SARS-CoV-2, lo que evita su entrada a las células, como lo es el sotrovimab o la combinación casirivimab/ imdevimab; cabe resaltar que esta última no es eficaz contra la variante ómicron (OMS, 2022b). En los casos críticos de infección por SARS-CoV-2, los pacientes necesitan de oxígeno suplementario e incluso la hospitalización para que se les administre ventilación artificial, ya sea invasiva (intubación), o no invasiva (mascarilla). Tanto el remdesivir, que es un antiviral inhibidor de la multiplicación del virus, como el baricitnib, que modula la respuesta inmunológica, y la dexametasona, que actúa suprimiendo la respuesta inflamatoria, contribuyen a reducir el tiempo de estancia hospitalaria (FDA, 2020; OMS, 2021b, 2022b). En este artículo se han tomado en cuenta las recomendaciones farmacológicas actuales. De todas maneras, también hay que considerar que el COVID-19 es una enfermedad emergente que en la actualidad se encuentra en un proceso constante y creciente de generación del conocimiento, por lo que las recomendaciones del tratamiento irán mejorando con el tiempo.

El común denominador entre COVID-19 y TB es la alta mortalidad que producen en la escena mundial, siendo ambas causantes de muerte por un sólo agente infeccioso. Hoy en día, se han desarrollado vacunas para disminuir la severidad y mortalidad por SARS-CoV-2 (OMS, 2021b). La única vacuna aceptada para prevenir la TB es la BCG (bacilo de Calmette-Guérin) y ha sido fundamental para disminuir significativamente en el mundo los casos de tuberculosis meníngea, las formas diseminadas y la presencia de TB en niños menores de cinco años; esta vacuna se aplica a todos los recién nacidos en países endémicos de TB (OMS, 2007).

2. DOS POR UNO: ¡COINFECCIÓN TB-COVID-19!

Si una persona se ha infectado con *M. tuberculosis* y desarrolla TB entonces esa persona tienen mayor susceptibilidad de enfermar por COVID-19 (Singh *et al.*, 2020). Una explicación probable a este fenómeno está asociada al proceso inflamatorio crónico que se desarrolla en los pulmones de las personas infectadas o que han desarrollado la TB. Al respecto, *M. tuberculosis* afecta la capacidad pulmonar y compromete la defensa

ante otros patógenos que producen infecciones en vías respiratorias como SARS-CoV-2. Se piensa que el daño generado por COVID-19 más el daño establecido por la TB determinan un pronóstico adverso para estos pacientes, quienes llegan a desarrollar complicaciones graves. La respuesta inflamatoria, intensificada por la presencia de ambas infecciones, favorece la producción de efectos nocivos al pulmón que ponen en riesgo la vida del paciente (Mousquer *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2020).

En los últimos dos años, gran porcentaje de las infecciones respiratorias han sido atribuidas únicamente a SARS-CoV-2. Sin embargo, datos obtenidos por la Red Global de Tuberculosis muestran que la tasa de letalidad en pacientes coinfectados es de alrededor de 10.6% (Motta *et al.*, 2020). De hecho, son pocos los estudios estadísticos que consideran el impacto de la coinfección COVID-19 y TB. Por ejemplo, en China, país con alta carga de tuberculosis entre su población, se ha estimado una prevalencia de TB en pacientes con COVID entre 0.37% al 4.47% (Gao *et al.*, 2021). Otro país con alta carga de TB entre su población, Filipinas, ha resaltado que el riesgo de muerte de pacientes con COVID-19 y TB ha sido 2.17 veces más alto que en pacientes sin TB y que la probabilidad de recuperación en pacientes con coinfección es 25% menor que en quienes tienen sólo COVID-19 (Sy *et al.*, 2020). Aunque no se tienen datos a nivel mundial, un estudio multicéntrico con el análisis de 767 pacientes con TB/COVID-19 de 34 países reportó que el 74% de la cohorte presentó diagnóstico de TB antes de tener COVID-19 y el 16.5% fue diagnosticado con ambas enfermedades en la misma semana (The TB/COVID-19 Global Study Group, 2022).

Aunque no se ha identificado algún determinante específico para conocer el porvenir de estos pacientes, se han reconocido como factores de riesgo y mal pronóstico a la infección por VIH, cáncer, así como enfermedades pulmonares crónicas como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, fibrosis pulmonar y comorbilidades como diabetes. Los grupos vulnerables para ambas patologías requieren de una mayor atención y cuidado (Mousquer *et al.*, 2021; Singh *et al.*, 2020). También se ha planteado la posibilidad de que la infección por SARS-CoV-2 podría ser una causa de reactivación de TB latente (Pathak *et al.*, 2020). En este contexto, se ha documentado que el tratamiento comúnmente utilizado para la COVID-19 propicia un ambiente idóneo para la progresión de TB latente a activa (Mousquer *et al.*, 2021).

3. IMPACTO DE LA COVID-19 SOBRE LA ESTRATEGIA PARA PONER FIN A LA TB

En 2014 los estados pertenecientes a la OMS y a la ONU acordaron poner fin a la TB para 2030 gracias a lo establecido en la Estrategia Fin de la TB (WHO's End TB Strategy) de la OMS y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU (OMS, 2021a). Dicha estrategia y los ODS incluyen hitos y metas para lograr considerables reducciones en la incidencia y el número de muertes por TB (tabla 1).

TABLA 1
Objetivos globales de la OMS y la ONU para poner fin a la TB en 2030

Estrategia de la OMS	Estrategia de la ONU
Reducir el 80% de los casos nuevos de TB • Hito 2020: reducción del 20% • Hito 2025: reducción del 50%	Incremento del número de personas con TB en tratamiento • 3.5 millones de niños • 1.5 millones de personas con TB farmacorresistente
Reducir el 90% de las muertes por TB • Hito 2020: reducción del 35% • Hito 2025: reducción del 75%	Dar tratamiento preventivo de TB a al menos 30 millones de personas, que comprende: • 6 millones de personas con VIH • 4 millones de niños menores de 5 años. • 20 millones de personas de otros grupos de edad que tienen contacto doméstico con personas afectadas por TB

Fuente: elaboración propia.

Los hitos y objetivos acordados por la OMS y la ONU no se alcanzaron en 2020; esto plantea las escasas posibilidades de poner fin a la TB para 2030 principalmente porque el COVID-19 amenaza con revertir el progreso en la reducción de la carga mundial de TB. Si no se alcanzan las metas para reducir la incidencia y la tasa de mortalidad por TB en el mundo, se calcula que se perderán 3 billones de dólares (Silva *et al.*, 2021). Sin duda, la falta de financiación es una de las principales razones para no alcanzar los objetivos de la OMS y la ONU contra la TB. La falta de recursos económicos es el obstáculo para la modernización de las técnicas de diagnóstico de TB con el fin de hacerlas más rápidas y de costo accesible para la mayoría de la población.

En mayo de 2020 un modelo de estudio realizado por Stop TB Partnership en colaboración con Imperial College, Avenir Health, Johns Hopkins University y USAID predijo que las medidas relacionadas con COVID-19 tendrían un impacto devastador en la TB (Stop TB Partnership, 2021). Al respecto, 1.2 millones de personas menos no han sido diagnosticadas ni tratadas por TB en comparación con 2019, lo que implica que 2021 fue un año igual de devastador como 2020 (OMS, 2021a).

PROSPECTIVA. ¿QUÉ SE PUEDE HACER PARA NO DESVIAR LA ATENCIÓN DE LA TB Y REDUCIR LOS CASOS A NIVEL MUNDIAL?

La TB es una enfermedad curable y prevenible: reportes indican que el 85% de las personas de quienes la padecen logran curarse con éxito siguiendo con exactitud el tratamiento (Hogan *et al.*, 2020). Por ello, de manera inmediata se recomienda que se permita el acceso a los servicios esenciales de diagnóstico de posibles casos para evitar que el cuadro clínico avance, así como el tratamiento gratuito y oportuno a pacientes con TB activa; de esa manera se evitará la TB multirresistente, que es más difícil de tratar, tanto para seleccionar medicamento con menor toxicidad como para la carga económica que genera al estado. Por otro lado, es imprescindible mantener el apoyo en las áreas de investigación para el estudio de mecanismos inmunológicos involucrados y conseguir la eliminación del patógeno, así como el estudio del desarrollo de pruebas oportunas y accesibles para el diagnóstico de TB y el desarrollo de nuevas vacunas.

Considerando las similitudes entre TB y COVID-19, se podría aprovechar el conocimiento generado entre ambos campos de estudio en el desarrollo de nuevas estrategias diagnósticas y terapéuticas. Aunque la atención de la comunidad científica está centrada en el SARS-CoV-2, no deben olvidarse patologías que históricamente siguen amenazando la salud pública, por ejemplo la TB. Con la llegada del COVID-19, son aún más urgentes las inversiones en programas de investigación y control de la TB (Tomlinson, 2020). Es fundamental que los programas nacionales e internacionales para su control permanezcan en operación internacionalmente, pero haciendo hincapié en aquellos con alta incidencia de TB.

CONCLUSIONES

En resumen, la experiencia de la coinfección COVID-19 y TB en el mundo es todavía muy limitada. No obstante, al tratarse de enfermedades transmitidas por vía aérea y que afectan al mismo órgano central (el pulmón), existen similitudes y diferencias que se adelantan al entendimiento de ambas patologías. Además, la principal desventaja que ha acarreado la pandemia por COVID-19 es la de resaltar la deficiencia de los sistemas de salud para atender las demandas de una nueva enfermedad que dejan en evidencia las carencias ya presentes antes de la pandemia, como el limitado control de la TB. De hecho, el programa de estrategias para la erradicación de la TB se ha visto afectado con un retroceso en los avances planteados en los programas internacionales de control de la TB. Por último, el objetivo es dejar claro que invertir en la investigación en ambas patologías se debe aprovechar para implementar nuevas y mejores estrategias en el diagnóstico, tratamiento y en el desarrollo de vacunas oportunas para tuberculosis.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los árbitros de la revista sus sugerencias, las cuales, gracias a su amplia experiencia, fueron fundamentales para una mejor estructura del manuscrito.

REFERENCIAS

- Abdool Karim, S. S., & de Oliveira, T. (2021). New SARS-CoV-2 Variants—Clinical, Public Health, and Vaccine Implications. *New England Journal of Medicine*, 384(19), 1866-1868. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2100362>
- Alcaide, F. (2017). Diagnóstico microbiológico actual de la tuberculosis. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 35(7), 399-402. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2017.06.003>
- Behr, M. A., Edelstein, P. H., & Ramakrishnan, L. (2018). Revisiting the timetable of tuberculosis. *BMJ*, k2738. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2738>
- CDC (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades). (2016a, marzo 11). *How TB spreads?* Disponible en <https://www.cdc.gov/tb/topic/basics/howtbspreads.htm>
- CDC (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades). (2016b, junio 1). *Datos básicos sobre la tuberculosis*. Disponible en <https://www.cdc.gov/tb/esp/topic/basics/signsandsymptoms.htm>
- CDC (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades). (2016c, junio 23). *Pruebas para detectar la infección de tuberculosis*. Disponible en <https://www.cdc.gov/tb/esp/topic/testing/tbtesttypes.htm>
- Chai, Q., Lu, Z., & Liu, C. H. (2020). Host defense mechanisms against Mycobacterium tuberculosis. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 77(10), 1859-1878. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03353-5>
- Cheng, C., Zhang, D., Dang, D., Geng, J., Zhu, P., Yuan, M., Liang, R., Yang, H., Jin, Y., Xie, J., Chen, S., & Duan, G. (2021). The incubation period of COVID-19: A global meta-analysis of 53 studies and a Chinese observation study of 11 545 patients. *Infectious Diseases of Poverty*, 10(1), 119. <https://doi.org/10.1186/s40249-021-00901-9>
- Chu, D. K., Akl, E. A., Duda, S., Solo, K., Yaacoub, S., Schünemann, H. J., Chu, D. K., Akl, E. A., El-harakeh, A., Bognanni, A., Lotfi, T., Loeb, M., Hajizadeh, A., Bak, A., Izcovich, A., Cuello-Garcia, C. A., Chen, C., Harris, D. J., Borowiack, E., ... Schünemann, H. J. (2020). Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet*, 395(10242), 1973-1987. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9)
- FDA (Food and Drug Administration). (2020, October 22). *FDA Approves First Treatment for COVID-19*. Retrieved from <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-treatment-covid-19>
- FDA (Food and Drug Administration). (2021a, diciembre 23). *Actualización sobre el coronavirus (COVID-19): La FDA autoriza el primer tratamiento antiviral oral contra el COVID-19*. Disponible en <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/actualizacion-sobre-el-coronavirus-covid-19-la-fda-autoriza-el-primer-tratamiento-antiviral-oral>
- FDA (Food and Drug Administration). (2021b, diciembre 23). *Actualización sobre el coronavirus (COVID-19): La FDA autoriza un antiviral oral adicional para el tratamiento contra el COVID-19 en ciertos adultos*. Disponible en <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/actualizacion-sobre-el-coronavirus-covid-19-la-fda-autoriza-un-antiviral-oral-adicional-para-el>
- Gao, Y., Liu, M., Chen, Y., Shi, S., Geng, J., & Tian, J. (2021). Association between tuberculosis and COVID-19 severity and mortality: A rapid systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Virology*, 93(1), 194-196. <https://doi.org/10.1002/jmv.26311>

- Hogan, A. B., Jewell, B. L., Sherrard-Smith, E., Vesga, J. F., Watson, O. J., Whittaker, C., Hamlet, A., Smith, J. A., Winskill, P., Verity, R., Baguelin, M., Lees, J. A., Whittles, L. K., Ainslie, K. E. C., Bhatt, S., Boonyasiri, A., Brazeau, N. F., Cattarino, L., Cooper, L. V., ... Hallett, T. B. (2020). Potential impact of the COVID-19 pandemic on HIV, tuberculosis, and malaria in low-income and middle-income countries: A modelling study. *The Lancet Global Health*, 8(9), e1132-e1141. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30288-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30288-6)
- Li, J., Huang, D. Q., Zou, B., Yang, H., Hui, W. Z., Rui, F., Yee, N. T. S., Liu, C., Nerurkar, S. N., Kai, J. C. Y., Teng, M. L. P., Li, X., Zeng, H., Borghi, J. A., Henry, L., Cheung, R., & Nguyen, M. H. (2021). Epidemiology of COVID-19: A systematic review and meta-analysis of clinical characteristics, risk factors, and outcomes. *Journal of Medical Virology*, 93(3), 1449-1458. <https://doi.org/10.1002/jmv.26424>
- López Pérez, G. T., Ramírez Sandoval, M. de L. P., & Torres Altamirano, M. S. (2020). Participantes de la respuesta inmunológica ante la infección por SARS-CoV-2. *Alergia, Asma e Inmunología Pediátricas*, 29(1), 5-15. <https://doi.org/10.35366/93321>
- Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., Roser, M., Hasell, J., Appel, C., Giattino, C., & Rodés-Guirao, L. (2021). A global database of COVID-19 vaccinations. *Nature Human Behaviour*, 5(7), 947-953. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01122-8>
- Meyerowitz, E. A., Richterman, A., Gandhi, R. T., & Sax, P. E. (2021). Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors. *Annals of Internal Medicine*, 174(1), 69-79. <https://doi.org/10.7326/M20-5008>
- Motta, I., Centis, R., D'Ambrosio, L., García-García, J.-M., Goletti, D., Gualano, G., Lipani, F., Palmieri, F., Sánchez-Montalvá, A., Pontali, E., Sotgiu, G., Spanevello, A., Stochino, C., Taberner, E., Tadolini, M., van den Boom, M., Villa, S., Visca, D., & Migliori, G. B. (2020). Tuberculosis, COVID-19 and migrants: Preliminary analysis of deaths occurring in 69 patients from two cohorts. *Pulmonology*, 26(4), 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2020.05.002>
- Mousquer, G. T., Peres, A., & Fiegenbaum, M. (2021). Pathology of TB/COVID-19 Co-Infection: The phantom menace. *Tuberculosis*, 126, 102020. <https://doi.org/10.1016/j.tube.2020.102020>
- Narasimhan, P., Wood, J., MacIntyre, C. R., & Mathai, D. (2013). Risk Factors for Tuberculosis. *Pulmonary Medicine*, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2013/828939>
- Nardell, E. A. (2016). Transmission and Institutional Infection Control of Tuberculosis. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 6(2), a018192. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a018192>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2007, febrero 16). *La vacuna antituberculosa*. Disponible en https://www.who.int/immunization/wer7904BCG_Jan04_position_paper_SP.pdf
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2015, agosto 16). *The end TB strategy*. Disponible en <https://www.who.int/publications-detail-redirect/WHO-HTML-TB-2015.19>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2018). *Latent tuberculosis infection: Updated and consolidated guidelines for programmatic management*. Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/260233>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2020a). *Perfil de tuberculosis: Mundial*. Disponible en https://worldhealthorg.shinyapps.io/tb_profiles/?_inputs_&lan=%22ES%22&entity_type=%22group%22&group_code=%22global%22
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2020). *WHO consolidated guidelines on tuberculosis: Module 3: diagnosis: rapid diagnostics for tuberculosis detection*. Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332862>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2020b). *WHO operational handbook on tuberculosis: Module 4: treatment: drug-resistant tuberculosis treatment*. Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332398>

- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2020c, marzo 11). *Alocución de apertura del Director General de la OMS en la rueda de prensa sobre la COVID-19 celebrada el 11 de marzo de 2020*. Disponible en <https://www.who.int/es/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2021a). *Global tuberculosis report 2021*. Disponible en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/346387>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2021b, mayo 13). *Información básica sobre la COVID-19*. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2022a). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. Disponible en <https://covid19.who.int>
- OMS, (Organización Mundial de la Salud). (2022b). *Therapeutics and COVID-19*. Disponible en <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-therapeutics-2022.2>
- Pathak, L., Gayan, S., Pal, B., Talukdar, J., Bhuyan, S., Sandhya, S., Yeger, H., Baishya, D., & Das, B. (2020). Coronavirus activates a stem cell-mediated defense mechanism that reactivates dormant tuberculosis: Implications in COVID-19 pandemic [Preprint]. *Microbiology*. <https://doi.org/10.1101/2020.05.06.077883>
- Secretaría de Salud. (2021, marzo 28). *México avanza en la reducción de incidencia y mortalidad por tuberculosis*. Disponible en <http://www.gob.mx/salud/prensa/129-mexico-avanza-en-la-reduccion-de-incidencia-y-mortalidad-por-tuberculosis>
- Silva, S., Arinaminpathy, N., Atun, R., Goosby, E., & Reid, M. (2021). Economic impact of tuberculosis mortality in 120 countries and the cost of not achieving the Sustainable Development Goals tuberculosis targets: A full-income analysis. *The Lancet Global Health*, 9(10), e1372-e1379. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00299-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00299-0)
- Singh, A., Prasad, R., Gupta, A., Das, K., & Gupta, N. (2020). Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 and pulmonary tuberculosis: Convergence can be fatal. *Monaldi Archives for Chest Disease*, 90(3). <https://doi.org/10.4081/monaldi.2020.1368>
- Stop TB Partnership. (2021, September 28). *COVID-19 pandemic combined with funding shortfalls are devastating efforts to end Tuberculosis (TB) by 2030*. Retrieved from http://www.stoptb.org/webadmin/cms/docs/Press%20Brief_FINAL.pdf
- Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. (2022, enero 13). *Informe Técnico Diario COVID-19 MÉXICO*. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/692495/Comunicado_Tecnico_Diario_COVID-19_2022.01.13.pdf
- Sy, K. T. L., Haw, N. J. L., & Uy, J. (2020). Previous and active tuberculosis increases risk of death and prolongs recovery in patients with COVID-19. *Infectious Diseases*, 52(12), 902-907. <https://doi.org/10.1080/23744235.2020.1806353>
- The TB/COVID-19 Global Study Group. (2022). Tuberculosis and COVID-19 co-infection: Description of the global cohort. *European Respiratory Journal*, 59(3), 15. <https://doi.org/10.1183/13993003.02538-2021>
- Tomlinson, C. (2020). *La inversión para la investigación en TB proporciona un retorno en la lucha tanto contra la TB como la Covid-19*. Disponible en https://www.treatmentactiongroup.org/wp-content/uploads/2021/01/tag_tb_covid_brief_spanish.pdf
- Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., & Tan, W. (2020). A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*, 382(8), 727-733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>



Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2

Sánchez-López, Perla; Fuentes Moyado, Sergio; Petranovskii, Vitalii; Smolentseva, Elena

Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 29, núm. 4. Número especial “SARS-CoV-2”, 2022 | e180

Espacio del Divulgador

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Sánchez-López, P., Fuentes Moyado, S., Petranovskii, V. y Smolentseva, E. (2022). Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2. CIENCIA *ergo-sum*, 29(4). Número especial “SARS-CoV-2”. <https://doi.org/10.30878/ces.v29n4a3>

Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2

Nanomaterials at the forefront against the virus SARS-CoV-2

Perla Sánchez-López

Universidad Nacional Autónoma de México, México

perlasanchez@ens.cnyn.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-5295-4269>

Recepción: 23 de noviembre de 2022

Aprobación: 8 de abril de 2022

Sergio Fuentes Moyado

Universidad Nacional Autónoma de México, México

fuentes@ens.cnyn.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-9843-408X>

Vitalii Petranovskii

Universidad Nacional Autónoma de México, México

vitalii@ens.cnyn.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-8794-0593>

Elena Smolentseva*

Universidad Nacional Autónoma de México, México

elena@ens.cnyn.unam.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-2562-9094>

RESUMEN

Se presentan los avances que tiene la nanotecnología en la lucha contra las enfermedades infecciosas con los mecanismos de transmisión viral, incluyendo el virus SARS-CoV-2. Se mencionan algunos ejemplos en el desarrollo de nuevos nanomateriales con propiedades biocidas que han demostrado sus efectos sobre un amplio espectro de microorganismos patógenos. En específico, se resaltan las propiedades antimicrobianas de nanopartículas de cobre (Cu) y plata (Ag) y su potencial uso en las mascarillas u otros equipos de protección personal para alcanzar el objetivo de aumentar la protección de la población contra el COVID-19.

PALABRAS CLAVE: equipo de protección primaria, nanomateriales, enfermedades infecciosas, SARS-CoV-2, prevención.

ABSTRACT

The advances that nanotechnology has against the infectious diseases with viral transmission mechanisms, including the SARS-CoV-2 virus are presented. Some examples are mentioned in the development of new nanomaterials with biocidal properties that have demonstrated their effects on a wide spectrum of pathogenic microorganisms. Specifically, the antimicrobial properties of copper and silver nanoparticles are highlighted, as well as their potential application in masks or other personal protection equipment to achieve the objective to increase the protection of the population against COVID-19.

KEYWORDS: primary protective equipment, nanomaterials, SARS-CoV-2, infectious diseases, prevention.

1. ESTADO DEL ARTE

Durante los últimos dos años la población de nuestro planeta ha vivido bajo condiciones de aislamiento debido a la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2 (del inglés *severe acute respiratory syndrome corona virus 2*). No es la primera pandemia que ataca al mundo, pues la humanidad en su historia se ha enfrentado a diez grandes pandemias, pero el último siglo concentra el mayor número de amenazas epidemiológicas, por ejemplo: la gripe

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

*elena@ens.cnyn.unam.mx

española (1918-1920), la gripe asiática (1957-1958), la gripe de Hong Kong (1968), la infección VIH (desde los setenta), el ébola (desde 1976), el SARS (2002-2003) y el MERS (desde 2012) (Castañeda Guillot y Ramos Serpa, 2020). Surgen las preguntas: ¿Por qué? y ¿cuántas vidas han costado estas epidemias? El incremento de la población, el hacinamiento en las grandes ciudades y la facilidad de transportación de un país a otro han sido las posibles causas que han promovido la dispersión de estas epidemias.

Desde que el ser humano empezó a organizarse en comunidades, lo cual trajo consigo núcleos de personas que convivían juntos en el mismo territorio, las enfermedades contagiosas tomaron un especial protagonismo. Con el tiempo la población fue creciendo y las enfermedades se extendieron e invadieron otras regiones del planeta. En ocasiones, estas pandemias han transformado las sociedades en las que se originaron y han cambiado el curso de la historia al llevarse consigo a millones de víctimas. Algunas de estas pandemias han desaparecido cuando el virus perdió letalidad y mejoraron las condiciones de higiene, unas más se pudieron controlar con ayuda de una vacuna y otras la humanidad todavía no ha logrado vencerlas en su totalidad (VIH o MERS).

A pesar de que una posible pandemia de origen viral era temida y esperada en el mundo desde hace varios años, nadie estaba preparado para combatirla. El 31 de diciembre de 2019 el Ministerio de Salud de China notificó a la OMS sobre los primeros pacientes con “neumonía atípica grave”. Este hecho fue el inicio de lo que ahora se describe como una crisis global y una de las pandemias más devastadoras de los últimos tiempos. La OMS denominó esta enfermedad *COVID-19* (*coronavirus disease 2019*) el 11 de febrero de 2020 por el tipo de virus y el año de aparición. Desde el 11 de marzo de 2020 se declaró una situación pandémica mundial.

Ante la falta de medicamentos y vacunas para combatir la infección, una de las principales recomendaciones de protección personal que ha dado la OMS es el uso correcto de los equipos de protección personal (EPP): mascarillas, batas, guantes, pantallas protectoras etc., que se han convertido en los artículos imprescindibles para evitar el contagio no sólo entre el personal médico, sino también para el resto de la población. Sin embargo, en los primeros meses de la pandemia la gente se enfrentó con el problema de la falta de estos materiales. No había insumos suficientes para abastecer una demanda simultánea en el mundo, por lo que los costos de cubrebocas subieron significativamente. De este modo, es creciente la necesidad de encontrar nuevas medidas para la prevención y el tratamiento de amenazas como el SARS-CoV-2.

Se considera que la nanotecnología tiene un papel determinante en la lucha contra el COVID-19, y jugará uno más fundamental tanto en la prevención de las enfermedades como en el diagnóstico y en la mejora de los sistemas de administración de agentes antivirales. En este contexto, la nanotecnología ha funcionado y lo seguirá haciendo en el futuro como puente para el desarrollo de nanomateriales con aplicaciones médicas (Sahoo *et al.*, 2007).

Es bien sabido, que los metales como la plata tienen propiedades antibacterianas *per se* (Kim *et al.*, 2007; Yin *et al.*, 2020). Desde la antigüedad, la plata se ha utilizado como agente antimicrobiano. Los egipcios recurrían a ella para eliminar las bacterias y hongos en cisternas de agua y con ello lograban que se conservara por un largo tiempo. Durante muchos siglos, la plata ha sido empleada para evitar el contagio de enfermedades, aun sin conocer su mecanismo de acción.

Las nanopartículas de plata liberan continuamente iones de plata que penetran en la membrana de las células bacterianas y se unen con las proteínas. Debido a la atracción electrostática y la afinidad por las proteínas de azufre, los iones de plata pueden adherirse a la pared celular y a la membrana citoplasmática. Los iones adheridos mejoran la permeabilidad de la membrana citoplasmática y provocan su ruptura. Una vez que las células han absorbido los iones de plata, las enzimas respiratorias se desactivan y generan especies reactivas de oxígeno, lo cual interrumpe la producción de trifosfato de adenosina, un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular. Como el azufre y el fósforo son componentes clave del ADN, la interacción de los iones de plata con ellos puede causar problemas en la replicación del ADN, la reproducción celular o incluso provocar la muerte de los microorganismos. Además, los iones de plata inhiben la síntesis de proteínas al desnaturalizar los ribosomas en el citoplasma (Khorrami *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2020). De esta manera, se evita el desarrollo de microorganismos patógenos.

El cobre ha demostrado un efecto similar a la plata. En los ensayos *in vitro*, el cobre mostró una eficiencia de 99.9% en desactivación de microorganismos durante las dos primeras horas de contacto con el metal (Prado *et al.*, 2012).

En la era de la nanotecnología, el comportamiento de los materiales a la nanoescala (10^{-9} m) es diferente y muchos de ellos presentan propiedades nuevas e interesantes; el cobre y la plata no están ajenos a esta tendencia. Sus propiedades a estas diminutas escalas son objeto de estudio en campos como electrónica, óptica, biología, microbiología, catálisis y medicina.

2. NANOPARTÍCULAS DE PLATA Y COBRE Y SU EFECTO ANTIMICROBIANO

La necesidad de buscar nuevas alternativas de tratamiento y control de agentes infecciosos deriva de la creciente resistencia bacteriana ante los antibióticos existentes, de la rapidez en las mutaciones de los virus y de la baja respuesta inmunológica de algunas personas, entre otros problemas.

Algunos microorganismos como *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida albicans*, empleados comúnmente para pruebas antimicrobianas con nanomateriales, han permitido demostrar el potente efecto biocida de nanopartículas (NPs) de Ag y Cu. Sin embargo, las propiedades microbicidas de nanomateriales basados en plata o en cobre se siguen investigando sobre un amplio espectro de microorganismos patógenos para mitigar su propagación. Por ejemplo, en las últimas dos décadas, varias investigaciones han mostrado el potencial que tienen las NPs de Ag para inhibir al VIH-1 y al VIH-2 (Fayaz *et al.*, 2012; Ratan *et al.*, 2021).

Aunque el mecanismo de inactivación de los virus por efecto de NPs no ha sido totalmente esclarecido, a diferencia de otros microorganismos como las bacterias, la evidencia experimental muestra que algunos componentes de los virus (cubierta, RNA, etc.) son afectados por la presencia de las NPs. Dentro de los virus más letales se encuentran los subtipos de la influenza A (H1N1, H1N2 y H5N1). Estudios *in vitro* de NPs de Ag en contacto con subtipos de influenza A (Wieczorek *et al.*, 2020) muestran que además de la buena actividad antiviral de las NPs sobre estos virus, las NPs de Ag ayudan a reducir la muerte celular provocada por el virus. Por otra parte, las NPs de Cu basadas en Cu_2O , CuI, CuCl, Cu_2S , iones y otros óxidos, han sido probadas con los mismos propósitos (Carvalho y Conte-Junior, 2021; Jagaran y Singh, 2021; Pérez-Álvarez *et al.*, 2021; Román *et al.*, 2020; Tortella *et al.*, 2021a). Un estudio realizado con NPs de Cu_2O contra el virus causante de hepatitis C mostró que las NPs actuaban sobre todo interrumpiendo la etapa de adhesión del virus con la célula al bloquear los sitios de unión, es decir, las NPs interactuaban con las glicoproteínas y competían con los virus por los sitios de unión con la célula (Hang *et al.*, 2015). Recientemente, se ha demostrado que el coronavirus (SARS-CoV-2) y virus de la influenza (H1N1) al estar en contacto con superficies de cobre son inactivados minutos después de la exposición con este metal, lo que podría contribuir a reducir la propagación de estos patógenos (Cortes y Zuñiga, 2020).

Se estima que las NPs basadas en metales como Ag y Cu podrían llegar a jugar un rol crucial en la mitigación y tratamiento de enfermedades graves nuevas y ya existentes (Elkodous *et al.*, 2019; Pilaquinga *et al.*, 2021; Tortella *et al.*, 2021b). Adicionalmente, el efecto sinérgico que se genera al combinar ambos metales ayuda a lograr un efecto antimicrobiano más fuerte para combatir el virus.

Lo anterior son algunos ejemplos del potencial que tienen las NPs de Ag y Cu para inhibir virus incluyendo el del SARS-CoV-2 (Ahmed *et al.*, 2021; Rius-Rocabert *et al.*, 2022; Bello-Lopez *et al.*, 2021). Es importante mencionar que la concentración de estos metales es uno de los parámetros más significativos para que sean efectivos y puedan ser aplicados en biomedicina, microbiología, desinfección o bien en el diseño de dispositivos como filtros, mascarillas e equipo de protección personal. Asimismo, se siguen explorando nuevos métodos de síntesis de las NPs (físicos, químicos, fotoquímicos y biológicos o “verdes”) (Zahoor *et al.*, 2021) para optimizar sus propiedades.

3. INCORPORACIÓN DE NANOMATERIALES EN TEXTILES

Con el desarrollo de la nanotecnología y el diseño de diferentes tipos de nanomateriales la industria textil ofrece en la actualidad materiales con alguna característica específica para elaborar las prendas con propiedades mejoradas como la durabilidad, la resistencia al agua y sustancias químicas, el desgaste, el control de la temperatura, las propiedades antiestáticas y la autolimpieza, etc. Surgen las preguntas: ¿Cómo los nanomateriales pueden proporcionar esas características a la prenda? y ¿cómo es posible elaborar los textiles cuyos hilos combinan fibras con el nanomaterial? Existen cuatro grandes campos dentro del sector textil en los que se aplican avances nanotecnológicos: *a)* obtención de nanofibras a partir de electrohilado, *b)* ensamblaje de distintos componentes, *c)* funcionalización de fibras sintéticas con nanopartículas, *d)* funcionalización de tejidos mediante procesos de acabado en que se emplean complejos nanoestructurados.

Efectivamente, la ruta más simple es imitar diseños que ofrece la naturaleza. Es bien sabido que las hojas de algunas plantas tienen propiedades repelentes al agua o polvo. Es posible transferir las propiedades repelentes a las prendas modificando con los componentes involucrados en estos mecanismos (Singh *et al.*, 2017).

Otra ruta es usar algún método de síntesis que permite la producción de nanofibras de polímeros o fibras con NPs o nanotubos. La técnica de electrohilado ha demostrado su eficiencia para producir nanofibras con diámetros menores a un micrómetro. Con ellos se forma una densa red similar a una telaraña capaz de capturar las partículas virales muy pequeñas. Por otro lado, se pueden modificar las nanofibras con diversos tipos de nanopartículas, incluyendo plata o cobre, que son capaces de desactivar los patógenos capturados (Weiss *et al.*, 2020).

La técnica más innovadora para producir el hilo reforzado con nanomateriales fue aplicada por investigadores de la Universidad de Tsinghua, en Beijing, quienes descubrieron que al agregar grafeno y nanotubos de carbono de una sola pared al alimento de los gusanos de seda se obtuvo como resultado que éstos produzcan seda mecánicamente reforzada. Se encontró que una parte de los nanomateriales de carbono añadidos al alimento se incorporan y permanecen en la estructura de las fibras de seda, dándole mayor resistencia al hilo, mientras que el resto de los nanomateriales son excretados (Wang *et al.*, 2016).

Hasta la fecha los nanomateriales más utilizados en la fabricación de los textiles son nanoalambres, nanotubos y NPs. Entre las NPs se encuentran partículas de varios metales, como dióxido de titanio (Nosrati *et al.*, 2015), óxido de zinc (Hatamie *et al.*, 2015), óxido de silicio (Biswas y Jana, 2020) y plata (Xu *et al.*, 2016), etc. Cabe señalar que el área de investigación de nanotextiles presenta muchas oportunidades de desarrollo, lo que permite modificar las propiedades de los textiles y abre un campo de aplicación muy grande.

4. APLICACIÓN DE NPs DE AG Y CU EN LA FUNCIONALIZACIÓN DE TEXTILES PARA FABRICACIÓN DE EPP

Debido a las propiedades antimicrobianas que presentan NPs de Ag y Cu se cuenta con una estrategia para utilizarlas en la modificación y fabricación de mascarillas y otros EPP (Yocupicio-Gaxiola *et al.*, 2021). En la actualidad, existen mascarillas de diferentes tipos y distintos grados de protección. La mascarilla más recomendada por la OMS para el uso hospitalario es de tipo N95 que permite eliminar hasta 95% de partículas de bioaerosol con diámetros mayores de 0.3 micras. Diversas mascarillas de doble capa de polipropileno y algodón, así como las mascarillas plisadas de algodón de doble capa, también han demostrado su eficiencia en disminuir una cantidad considerable de partículas de virus SARS-CoV-2 (Fischer *et al.*, 2020).

Sin embargo, las mascarillas quirúrgicas actuales fabricadas con textiles no presentan propiedades antimicrobianas ni antivirales, pues sólo funcionan como barrera filtrante ante el virus, que es una de las limitantes en las condiciones actuales. La modificación de textiles con nanopartículas con propiedades biocidas puede funcionar bien en la desinfección contra el virus. Aunque todavía se está estudiando la estabilidad de NPs de Ag y Cu, hoy en día éstas son las más eficaces y prometedores con propiedades antimicrobianas. La modificación de mascarillas

con NPs de Ag y Cu representa grandes oportunidades para reducir significativamente la propagación de enfermedades. La figura 1 muestra un esquema de acción de NPs para desactivar el virus SARS-CoV-2 por nanopartículas incrustadas en las fibras de textiles.

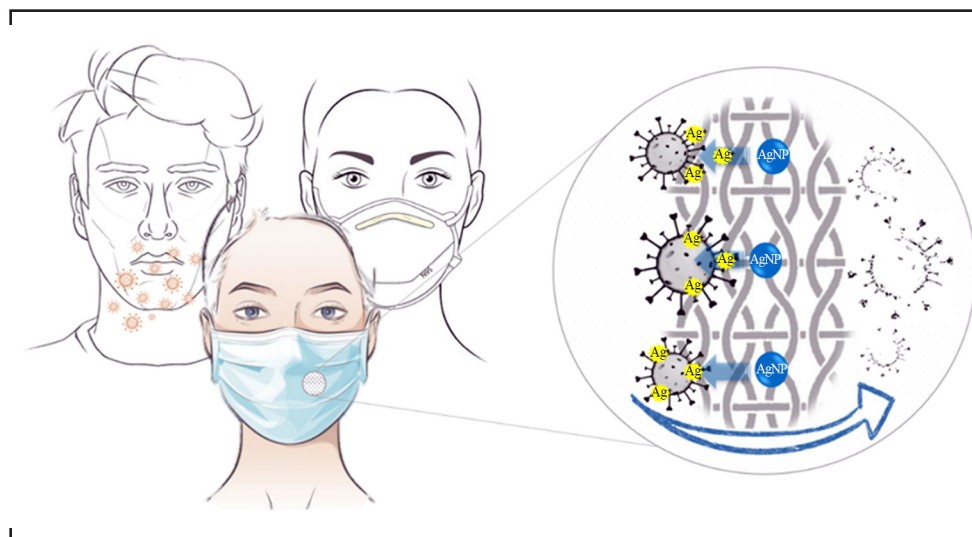


FIGURA 1

Mecanismo de desactivación del virus SARS-CoV-2 por nanopartículas incrustadas en las fibras de textiles para las mascarillas.

Fuente: elaboración propia.

Gracias a la nanotecnología, hoy en día, los tejidos con propiedades antimicrobianas se han convertido en una realidad. La incorporación de NPs de Ag y Cu en las fibras que son utilizadas para confeccionar ropa médica posibilita que el virus después de entrar en contacto con los materiales textiles pierda su actividad patógena. La figura 2 muestra las opciones de uso de los textiles modificados con NPs de Ag o Cu en la fabricación de productos de diferentes tipos.

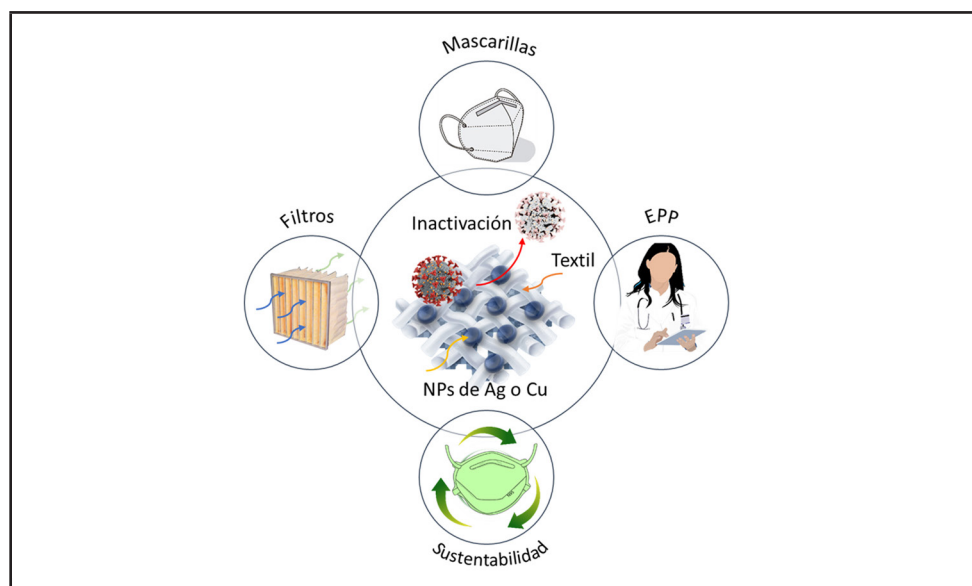


FIGURA 2

Diferentes opciones de uso de los textiles modificados con NPs de Ag o Cu.

Fuente: elaboración propia.

Se han desarrollado muchas tecnologías para modificar textiles con nanopartículas. Los métodos utilizados con más frecuencia para incorporar las NPs de Ag y Cu en los textiles de tipo algodón son mediante el tratamiento de fibras al final del proceso de fabricación. Dichos métodos requieren la preparación preliminar de NPs y posteriormente su unión con las fibras de textiles a través de varios procesos como el enlace químico o la interacción electrostática. Estos métodos requieren el uso de polímeros ramificados y se obtiene un tejido extremadamente estable que guarda su eficiencia antibacteriana incluso después de 20 ciclos consecutivos de lavado (Liu *et al.*, 2013). Los textiles como algodón, lana y poliamida se pueden modificar de manera simultánea con el proceso de teñido, así como antes o después del mismo. En el caso de las NPs de plata, se aplica una solución coloidal que contenga hasta un 70% de plata (Kobrakov *et al.*, 2017).

Asimismo, se ha propuesto un método basado en la irradiación con ultrasonido para generar NPs y a la vez anclarlas en los textiles. El sistema se basa en el arrastre continuo de una tira de textil entre dos láminas vibradas sumergidas en una solución con el precursor metálico. Las láminas tienen dos funciones: reducir el precursor metálico con formación de NPs mediante un proceso sonoquímico y, al mismo tiempo, presionar las partículas recién formadas sobre el textil, donde ellas se quedan bien ancladas. El grosor de recubrimiento y la concentración de NPs pueden controlarse variando la concentración de la solución y la velocidad de arrastre de la tira de textil a través del reactor. Este sistema se puede utilizar para recubrir una variedad de materiales textiles con varios tipos de nanopartículas preparadas por el método de sonoquímica (Abramov *et al.*, 2009).

COMENTARIOS FINALES Y PROSPECTIVA

Sin duda, la nanotecnología y los nanomateriales tienen un papel importante para prevenir el impacto y propagación de las enfermedades infecciosas incluyendo el virus SARS-CoV-2. La nanotecnología es un campo en el que científicos con una increíble diversidad de antecedentes han convergido en fructíferas cooperaciones para problemas multifacéticos. Hoy más que nunca la nanotecnología es necesaria para fundamentar nuevas bases para contrarrestar la actual amenaza para la salud pública mundial y prepararse para posibles nuevos desafíos, por ejemplo, de enfermedades infecciosas, y repensar un futuro más sostenible basado en la ciencia. Para ello, los nanomateriales han demostrado ser una alternativa viable debido a sus propiedades biocidas sobre un amplio espectro de microorganismos patógenos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los árbitros por su exhaustiva revisión del manuscrito, así como por sus observaciones y sugerencias, ya que aportaron una mejora a la estructura y contenido del artículo para lograr su publicación. El artículo está financiado por DGAPA-PAPIIT (UNAM, México) a través del proyecto IV 100121. P. Sánchez y E. Smolentseva agradecen el proyecto SENER-CONACYT 117373. Como acotación, los autores de este artículo están investigando la funcionalización de textiles con diferentes tipos de nanomateriales para confeccionar el equipo de protección personal a través de un proyecto financiado por la DGAPA en el programa PAPIIT con la finalidad de extender la protección personal y contener la propagación del virus SARS-CoV-2.

REFERENCIAS

Abramov, O. V., Gedanken, A., Koltypin, Y., Perkash, N., Perelshtein, I., Joyce, E., & Mason, T. J. (2009). Pilot scale sonochemical coating of nanoparticles onto textiles to produce biocidal fabrics. *Surface and Coatings Technology*, 204(5), 718-722, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2009.09.030>

- Ahmed, T., Ogulata, R. T., & Sezgin Bozok, S. (2021). Silver nanoparticles against SARS-CoV-2 and its potential application in medical protective clothing – a review. *The Journal of The Textile Institute*, 1-14. <https://doi.org/10.1080/00405000.2021.1996730>.
- Bello-Lopez, J. M., Silva-Bermudez, P., Prado, G., Martínez, A., Ibáñez-Cervantes, G., Cureño-Díaz, M. A., Rocha-Zavaleta, L., Manzo-Merino, J., Almaguer-Flores, A., Ramos-Vilchis, C., & Rodil, S. E. (2021). Biocide effect against SARS-CoV-2 and ESKAPE pathogens of a noncytotoxic silver-copper nanofilm. *Biomedical Materials*, 17(1), 015002. <https://doi.org/10.1088/1748-605x/ac3208>
- Biswas, A., & Jana, N. R. (2020). Cotton Modified with Silica Nanoparticles, N, F Codoped TiO₂ Nanoparticles, and Octadecyltrimethoxysilane for Textiles with Self-Cleaning and Visible Light-Based Cleaning Properties. *ACS Applied Nano Materials*, 4(1), 877-885. <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c03282>
- Carvalho, A. P. A., & Conte-Junior, C. A. (2021). Recent advances on nanomaterials to COVID-19 management: A Systematic Review on Antiviral/Virucidal Agents and Mechanisms of SARS-CoV-2 Inhibition/Inactivation. *Global Challenges*, 5(5), 2000115. <https://doi.org/10.1002/gch2.202000115>
- Castañeda Guillot, C. y Ramos Serpa, G., (2020). Principales pandemias en la historia de la humanidad. *Revista Cubana de Pediatría*, 92(1). Disponible en <http://www.revpediatria.sld.cu/index.php/ped/article/view/1183/714>
- Cortes, A. A., & Zuñiga, J. M. (2020). The use of copper to help prevent transmission of SARS-coronavirus and influenza viruses. A general review. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2020.115176>
- Elkodous, M. A., El-Sayyad, G. S., Nasser, H. A., Elshamy, A. A., Morsi, M., Abdelrahman, I. Y., Kodous, A. S., Mosallam, F. M., Gobara, M., & El-Batal, A. I. (2019). Engineered nanomaterials as potential candidates for HIV Treatment: Between opportunities and challenges. *Journal of Cluster Science*, 30(3), 531-540. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01533-8>
- Fayaz, A. M., Ao, Z., Girilal, M., Chen, L., Xiao, X., Kalaichelvan, P. T., & Yao, X., (2012). Inactivation of microbial infectiousness by silver nanoparticles-coated condom: A new approach to inhibit HIV- and HSV-transmitted infection. *International Journal of Nanomedicine*, 7, 5007-5018. <https://doi.org/10.2147/ijn.s34973>
- Fischer, E. P., Fischer, M. C., Grass, D., Henrion, I., Warren, W. S., & Westman, E. (2020). Low-cost measurement of face mask efficacy for filtering expelled droplets during speech. *Science Advances*, 6(36). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd3083>
- Hang, X., Peng, H., Song, H., Qi, Z., Miao, X., & Xu, W. (2015). Antiviral activity of cuprous oxide nanoparticles against Hepatitis C Virus in vitro. *Journal of Virological Methods*, 222, 150-157. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2015.06.010>
- Hatamie, A., Khan, A., Golabi, M., Turner, A. P. F., Beni, V., Mak, W. C., Sadollahkhani, A., Alnoor, H., Zargar, B., Bano, S., Nur, O., & Willander, M. (2015). Zinc oxide nanostructure-modified textile and its application to biosensing, photocatalysis, and as antibacterial material. *Langmuir*, 31(39), 10913-10921. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.5b02341>
- Jagaran, K., & Singh, M. (2021). Nanomedicine for COVID-19: Potential of copper nanoparticles. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3), 10716-10728. <https://doi.org/10.33263/briac113.1071610728>
- Khorrami, S., Zarrabi, A., Khaleghi, M., Danaei, M., & Mozafari, M.R. (2018). Selective cytotoxicity of green synthesized silver nanoparticles against the MCF-7 tumor cell line and their enhanced antioxidant and antimicrobial properties. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 8013-8024. <https://doi.org/10.2147/IJN.S189295>

- Kim, J. S., Kuk, E., Yu, K. N., Kim, J. H., Park S. J., Lee, H. J., Kim, S. H., Park, Y. K., Park Y. H., Hwang, C. Y., Kim, Y. K., Lee, Y. S., Jeong, D. H., & Cho, M. H. (2007). Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine*, 3(1), 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2006.12.001>.
- Kobrakov, K. I., Zakuskin, S. G., Zolina, L. I., Stankevich, G. S., Kuznetsov, D. N., & Rodionov, V. I. (2017). Nanomodified textile materials with biocidal properties: Development and pilot testing of manufacturing technology. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 51(5), 815-819. <https://doi.org/10.1134/s004057951705013x>
- Liu, H., Lee, Y. -Y., Norsten, T. B., & Chong, K. (2013). In situ formation of anti-bacterial silver nanoparticles on cotton textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 44(2), 198-210. <https://doi.org/10.1177/1528083713481833>
- Nosrati, R., Olad, A., & Nofouzi, K. (2015). A self-cleaning coating based on commercial grade polyacrylic latex modified by TiO₂/Ag-exchanged-zeolite-A nanocomposite. *Applied Surface Science*, 346, 543-553. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.04.056>
- Pérez-Álvarez, M., Cadenas-Pliego, G., Pérez-Camacho, O., Comparán-Padilla, V. E., Cabello-Alvarado, C. J., & Saucedo-Salazar, E. (2021). Green synthesis of Copper nanoparticles using cotton. *Polymers*, 13(12), 1906. <https://doi.org/10.3390/polym13121906>
- Pilaquinga, F., Morey, J., Torres, M., Seqqat, R., & Piña, M. de las N. (2021). Silver nanoparticles as a potential treatment against SARS-CoV-2: A review. *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 13(5). <https://doi.org/10.1002/wnan.1707>
- Prado, V. J., Vidal, A. R., & Durán, T. C., (2012). Application of copper bactericidal properties in medical practice. *Revista Médica de Chile*, 140(10), 1325-1332. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872012001000014>
- Ratan, Z. A., Mashrur, F. R., Chhoan, A. P., Shahriar, S. Md., Haidere, M. F., Runa, N. J., Kim, S., Kweon, D. -H., Hosseinzadeh, H., & Cho, J. Y. (2021). Silver nanoparticles as potential antiviral agents. *Pharmaceutics*, 13(12), 2034. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13122034>
- Rius-Rocabert, S., Arranz-Herrero, J., Fernández-Valdés, A., Marciello, M., Moreno, S., Llinares-Pinel, F., Presa, J., Hernandez-Alcoceba, R., López-Píriz, R., & Nistal-Villan, E. (2022). Broad virus inactivation using inorganic micro/nano-particulate materials. *Materials Today Bio*, 13, 100191. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100191>
- Román, L. E., Gomez, E. D., Solís, J. L., & Gómez, M. M. (2020). Antibacterial cotton fabric functionalized with copper oxide nanoparticles. *Molecules*, 25(24), 5802. <https://doi.org/10.3390/molecules25245802>
- Sahoo, S. K., Parveen, S., & Panda, J. J. (2007). The present and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 3(1), 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2006.11.008>
- Singh, N. A. (2017). Nanotechnology innovations, industrial applications and patents. *Environmental Chemistry Letters*, 15(2), 185-191. <http://doi.org/10.1007/s10311-017-0612-8>
- Tortella, G., Rubilar, O., Fincheira, P., Pieretti, J. C., Duran, P., Lourenço, I. M., & Seabra, A. B. (2021a). Bactericidal and virucidal activities of biogenic metal-based nanoparticles: Advances and Perspectives. *Antibiotics*, 10(7), 783. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070783>
- Tortella, G. R., Pieretti, J. C., Rubilar, O., Fernández-Baldo, M., Benavides-Mendoza, A., Diez, M. C., & Seabra, A. B. (2021b). Silver, copper and copper oxide nanoparticles in the fight against human viruses: progress and perspectives. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1939260>
- Wang, Q., Wang, C., Zhang, M., Jian, M., & Zhang, Y. (2016). Feeding single-walled carbon nanotubes or graphene to silkworms for reinforced silk fibers. *Nano Letters*, 16(10), 6695-6700. <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.6b03597>

- Weiss, C., Carriere, M., Fusco, L., Capua, I., Regla-Nava, J. A., Pasquali, M., Scott, J. A., Vitale, F., Unal, M. A., & Delogu, L. G. (2020). Toward nanotechnology-enabled approaches against the covid-19 Pandemic. *ACS Nano*, 14(6), 6383-6406. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c03697>
- Wieczorek, K., Szutkowska, B., & Kierzek, E. (2020). Anti-Influenza strategies based on nanoparticle applications. *Pathogens*, 9(12), 1020. <https://doi.org/10.3390/pathogens9121020>
- Xu, Q., Wu, Y., Zhang, Y., Fu, F., & Liu, X. (2016). Durable antibacterial cotton modified by silver nanoparticles and chitosan derivative binder. *Fibers and Polymers*, 17(11), 1782-1789. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6609-2>
- Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, S. I., Mei, M. L., Li, Q., & Chu, C. H. (2020). The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International Journal of Nanomedicine*, 15, 2555-2562. <https://doi.org/10.2147/IJN.S246764>
- Yocupicio-Gaxiola, R. I., Petranovskii, V., Sanchez, P., Antunez-Garcia, J., Alonso-Nunez, G., Galvan, D. H., & Murrieta-Rico, F. N. (2021). Prospects for further development of face masks to minimize pandemics functionalization of textile materials with biocide inorganic nanoparticles: A review. *IEEE Latin America Transactions*, 19(6), 1010-1023. <https://doi.org/10.1109/tla.2021.9451247>
- Zahoor, M., Nazir, N., Iftikhar, M., Naz, S., Zekker, I., Burlakovs, J., Uddin, F., Kamran, A. W., Kallistova, A., Pimenov, N., & Ali Khan, F. (2021). A Review on silver nanoparticles: Classification, various methods of synthesis, and their potential roles in biomedical applications and water treatment. *Water*, 13(16), 2216. <https://doi.org/10.3390/w13162216>

CC BY-NC-ND



Estrategias de optimización para hacer frente a la pandemia COVID-19

Ochoa-Barragán, Rogelio; Munguía-López, Aurora del Carmen; Ponce-Ortega, José María

Nanomateriales a la vanguardia para combatir el virus SARS-CoV-2

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 29, núm. 4. Número especial “SARS-CoV-2”, 2022 | **e181**

Espacio del Divulgador

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Ochoa-Barragán, R., Munguía-López, A. del C. y Ponce-Ortega, J. M. (2022). Estrategias de optimización para hacer frente a la pandemia COVID-19. CIENCIA *ergo-sum*, 29(4). Número especial “SARS-CoV-2”. <https://doi.org/10.30878/ces.v29n4a4>

Estrategias de optimización para hacer frente a la pandemia COVID-19

Optimization strategies to fight the COVID-19 pandemic

Rogelio Ochoa-Barragán

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

1207293g@umich.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-2187-5813>

Recepción: 23 de mayo de 2022

Aprobación: 8 de septiembre de 2022

Aurora del Carmen Munguía-López*

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

1723704c@umich.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-6347-3874>

José María Ponce-Ortega

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

jose.ponce@umich.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-3375-0284>

RESUMEN

Se dan a conocer distintas estrategias de optimización matemática que ayuden a combatir las problemáticas generadas por el COVID-19. Para tal fin, las estrategias presentadas emplean metodologías de optimización comúnmente aplicadas en otras áreas de la ciencia para atender la logística de vacunas, el consumo de energía, el impacto ambiental, el impacto económico y la gestión de los recursos sanitarios, entre otros. Impulsar el desarrollo de este tipo de estrategias permitirá estar mejor preparados ante la posibilidad de futuras pandemias.

PALABRAS CLAVE: optimización, COVID-19, recursos médicos.

ABSTRACT

The objective of this work is to present different mathematical optimization strategies that help combat the problems generated by COVID-19. To this end, different strategies are presented that use optimization methodologies commonly applied in other areas of science to address problems such as vaccine logistics, energy consumption, environmental impact, economic impact and management of health resources. Promoting the development of this type of strategy will allow us to be better prepared for the possibility of future pandemics.

KEYWORDS: Optimization, COVID-19, medical resources.

INTRODUCCIÓN

Debido al gran crecimiento de los países en desarrollo, existe también un aumento en el consumo de recursos no renovables, tales como combustibles fósiles, metales y minerales. En este campo resulta especialmente útil la optimización matemática para asegurar un correcto aprovechamiento de estos recursos tan limitados; sin embargo, sus aplicaciones no están restringidas a esas áreas, ya que la planificación eficiente es necesaria para garantizar una alta productividad en cualquier proceso.

A pesar de los avances tecnológicos en el campo médico, el fracaso en prevenir la propagación en el mundo del virus SARS-CoV-2 y la alta tasa de mortalidad, sorprendieron por la falta de previsión en el manejo de la salud. La pandemia COVID-19 no sólo trajo problemas de salud, sino también ambientales debido a la cantidad de

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

*1723704c@umich.mx

desechos médicos y a un aumento dramático en el consumo de plásticos. El impacto económico se vio afectado sobre todo por la disminución de la capacidad de producción industrial, que también repercutió en la distribución de alimentos y suministros médicos (lo cual afecta de forma directa a las cadenas de suministro), además del impacto financiero en los mercados y empresas.

Desde una perspectiva más optimista, la respuesta a la pandemia mundial trajo consigo muchos avances en varios campos. Uno de los más notables es la espectacular mejora en el ámbito de las vacunas: anteriormente tardaban más de diez años en desarrollarse, mientras que la de COVID-19 fue en un tiempo récord de menos de un año (como las de Pfizer, Moderna, Gamaleya y AstraZeneca) (Silveira *et al.*, 2021). Otro avance innegable es el de la tecnología digital, que ha jugado un papel fundamental en la preservación de la economía y la educación mediante la creación de sistemas y plataformas de trabajo remoto. En la figura 1 se muestra cómo el COVID-19 ha afectado diversas actividades emprendidas por la sociedad.

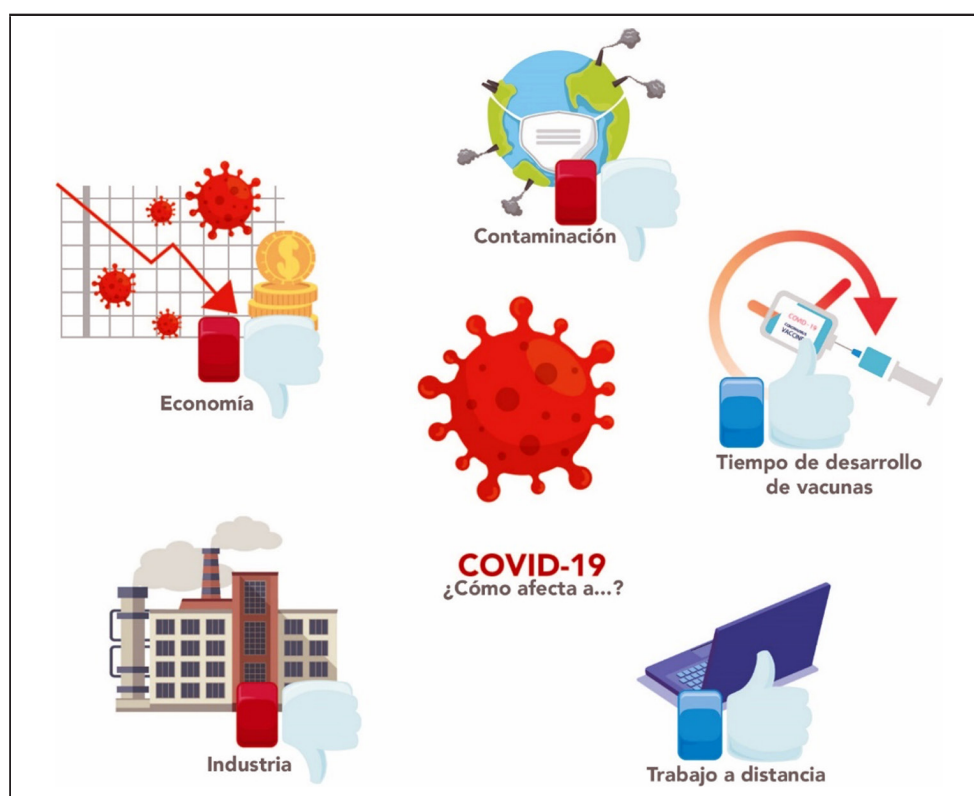


FIGURA 1
Ámbitos afectados por el COVID-19
Fuente: elaboración propia.

La implementación correcta y creativa de la optimización matemática en los diversos campos afectados por la pandemia del COVID-19 puede ayudar en gran medida a preservar la calidad de vida humana; por este motivo, este artículo presenta diversas aplicaciones de optimización matemática para estos fines.

La estructura del artículo es la siguiente: en la sección 1 se da un breve preámbulo a la optimización matemática y a sus metodologías que resultan útiles para abordar problemáticas que se desencadenaron por el COVID-19. En la sección 2 se muestra el uso de esquemas de justicia aplicados a la distribución de vacunas. En la sección 3 se presenta la aplicación de estrategias basadas en el nexo agua-energía-alimentos para aprovechar los nuevos residuos producidos a raíz de la pandemia. El uso de técnicas de optimización metaheurística para la distribución de recursos médicos disponibles bajo condiciones de pandemia se expone en la sección 4. Por último, las conclusiones y recomendaciones se plantean en la sección 5.

1. OPTIMIZACIÓN MATEMÁTICA

La optimización matemática es una gran herramienta para resolver problemas de gestión, toma de decisiones, planificación y predicción (Gunantara, 2018). Para solucionar cualquier inconveniente de esta herramienta, *a)* se debe plantear el problema y realizar un diagrama que contemple todas las configuraciones posibles del proceso seleccionado (comúnmente se le conoce como *superestructura*), *b)* establecer sus variables para después generar ecuaciones que relacionen dichas variables, *c)* asignar un conjunto de restricciones que delimitan la región factible del modelo y *d)* establecer una o más funciones objetivo para encontrar un conjunto de soluciones que sean de utilidad en la resolución del problema.

Las aplicaciones de la optimización resultan bastante diversas, ya que van desde el campo económico como herramienta de estimación óptima para la explotación de recursos y su gestión (Mujkic *et al.*, 2018) hasta el diseño de intercambiadores de calor en el campo de la ingeniería, en donde se ve involucrada la minimización de costos considerando parámetros energéticos, económicos y mecánicos (Sessarego *et al.*, 2014).

Los retos económicos originados a raíz de la pandemia en el ámbito social y en el ambiental en apariencia son ajenos a la optimización matemática; sin embargo, dándoles el enfoque correcto, podrían ser abordados por metodologías de optimización aplicadas en otros sectores (Nonato *et al.*, 2022). En los apartados siguientes se mostrarán aquellas que son las más utilizadas en distintos campos de la ciencia enfocadas de forma creativa e innovadora para atender las problemáticas del COVID-19.

2. ESQUEMAS DE JUSTICIA

La asignación de recursos finitos no es sencilla, sobre todo cuando existen múltiples partes interesadas bajo diferentes contextos en un esquema de escasez. Una posible solución a este desafío involucra la aplicación de esquemas de justicia, los cuales han sido empleados en el diseño de sofisticadas redes de distribución de agua (para sistemas agrícolas y urbanos) considerando el almacenamiento y uso óptimos (Rubio-Castro *et al.*, 2016). Los esquemas de justicia permiten encontrar una distribución equitativa; en cuanto a eso, los de economía del bienestar, el de justicia de Rawls y el de justicia de Nash son a los que más se recurre. A continuación, se describen.

- a)* El análisis de la economía del bienestar tiene en cuenta la cantidad de ingresos totales disponibles en una sociedad (o equivalentemente el nivel medio de ingresos), así como su grado de desigualdad (Arrow, 1950).
- b)* El esquema de distribución de Rawls surge de la teoría de Rawls llamada justicia como justicia, donde se establece que las desigualdades sociales y económicas deben organizarse de una manera que beneficie más a los miembros menos favorecidos de la sociedad (Chung, 2017).
- c)* Para Cole y Gkatzelis (2018), el bienestar social de Nash consiste en maximizar la “felicidad” simultánea de todos los individuos. En este caso, la felicidad se entiende como una alta asignación de un recurso a un individuo. Este esquema busca la asignación óptima de Pareto, en donde no es posible beneficiar más a un individuo sin perjudicar a otro.

En el siguiente apartado se presenta un ejemplo de cómo estos esquemas de resultan bastante útiles para la distribución justa de vacunas en tiempos de pandemia.

2. 1. Asignación de la vacuna COVID-19

Una campaña de inmunización realizada sin la priorización correcta de ciertas personas podría evitar que las tasas de infección no disminuyan como se espera, lo que provocaría más muertes y tiempos de aislamiento más prolongados en

todo el mundo (WHO, 2022). En la actualidad, las vacunas existentes en el mercado superan el 70%, lo que implica que se puede descartar la variable de eficacia. Sin embargo, durante la mayor parte de esta pandemia la sociedad se ha enfrentado a una baja disponibilidad de vacunas en muchos países; por esta razón, la asignación de las que se encuentran disponibles para detener la progresión de la infección cobra especial relevancia. Munguía-López y Ponce-Ortega (2021) desarrollaron una estrategia que hace uso de esquemas de distribución basados en las teorías de la justicia social, en la de justicia de Rawls y en la de Nash. Esta estrategia tiene como objetivo lograr una solución óptima y equitativa a través de la evaluación de parámetros relevantes para el sector salud, tales como población afectada por enfermedades autoinmunes o población perteneciente a la tercera edad (grupo de población de mayor riesgo epidemiológico). Al categorizar a los interesados (en este caso los estados de México) por densidad de población y tasas de infección por COVID19, las soluciones encontradas muestran con claridad cómo distribuir las vacunas disponibles cada estado del país. Por ejemplo, el esquema de economía social favorece a los estados más poblados independientemente de otros parámetros. En este caso, el Estado de México (estado con mayor población) es el más beneficiado con cerca de 17.5 millones de vacunas (suficientes para todo el territorio), mientras que los estados con poblaciones menores son descartados. El esquema rawlsiano, de forma similar al anterior, también destina una gran cantidad de vacunas al Estado de México (16 millones), pero no excluye estados con poblaciones más pequeñas como Zacatecas o Nayarit, a los que les otorga cerca de un millón. En última instancia, el esquema de Nash proporciona una asignación no relacionada al tamaño de las partes interesadas (población), lo cual permite asignaciones de vacunas más parecidas entre cada estado al destinar cerca de dos millones de vacunas a cada uno, excepto a aquellos con población menor, como Colima, que no superan el millón de habitantes. Cada esquema es útil en diferentes contextos (figura 2). Esta estrategia se puede aplicar a cualquier estudio de caso, incluso de diferentes escalas o regiones.



FIGURA 2

Estrategia para la asignación de vacunas con base en la implementación de esquemas de justicia

Fuente: adaptado de Munguía-López y Ponce-Ortega (2021).

3. NEXO AGUA-ENERGÍA-ALIMENTOS

El nexo agua-energía-alimentos es un tema destacado de investigación para lograr un desarrollo sustentable. Este concepto explora las interacciones y sinergias entre los distintos recursos disponibles. Por ejemplo, la extracción, bombeo, recolección y transporte de agua requieren grandes cantidades de energía. Por otro lado, la producción agroalimentaria consume gran parte del agua fresca disponible, y también necesita

energía para el transporte, distribución y almacenamiento de los alimentos producidos, mientras que, de los alimentos y sus residuos es posible generar energía a través de la producción de biocombustibles. Por otra parte, la producción de energía requiere agua para procesos de extracción de materias primas o procesos de refrigeración, limpieza, entre otros (Cansino-Loeza y Ponce-Ortega, 2021). Sin embargo, dificultad determinante asociada a este nexo es el gran aumento de consumo de estos recursos debido a la gran urbanización y crecimiento de la población, por lo que su aprovechamiento óptimo es crucial para asegurar el bienestar social y ambiental.

En los últimos años la producción de residuos urbanos ha incrementado debido al COVID-19, principalmente la de residuos médicos, la cual ocasionó un gran problema ambiental (Peng *et al.*, 2021). Sin embargo, como se muestra en el siguiente apartado, es posible aprovechar los residuos en las estrategias del nexo agua-energía-alimentos.

3. 1. Gestión de residuos durante la pandemia COVID-19

El mundo ha visto cambios ambientales positivos gracias a la pandemia, como cielos y ríos más limpios. Desafortunadamente, estos beneficios no equivalen al incremento de la producción de más desechos sólidos (Loh *et al.*, 2021), lo que ha llevado a la adopción de nuevas leyes y medidas para reducir la contaminación (Capoor y Parida, 2021). Durante esta pandemia se multiplicaron diversos tipos de desechos peligrosos, entre los cuales se incluyen máscaras, guantes y otros equipos de protección contaminados con el virus. En relación con lo anterior, Zhao y You (2021) analizaron y desarrollaron un modelo matemático de optimización para el nexo agua-energía-alimentos y desechos que ayudaría con los problemas ambientales y de salud originados por el aumento de desperdicios alimentarios durante el COVID-19. Al respecto, este artículo propone un modelo de múltiples periodos y múltiples objetivos para la estimación y minimización de costos. Además, se considera que los residuos de alimentos pueden ser tratados para la producción de biogás a través de un tanque anaeróbico, lo que los convierte en una alternativa viable en áreas con grandes ciudades. El nexo entre agua-energía-alimentos y desperdicio propuesto por Zhao y You (2021) se describe en la figura 3.

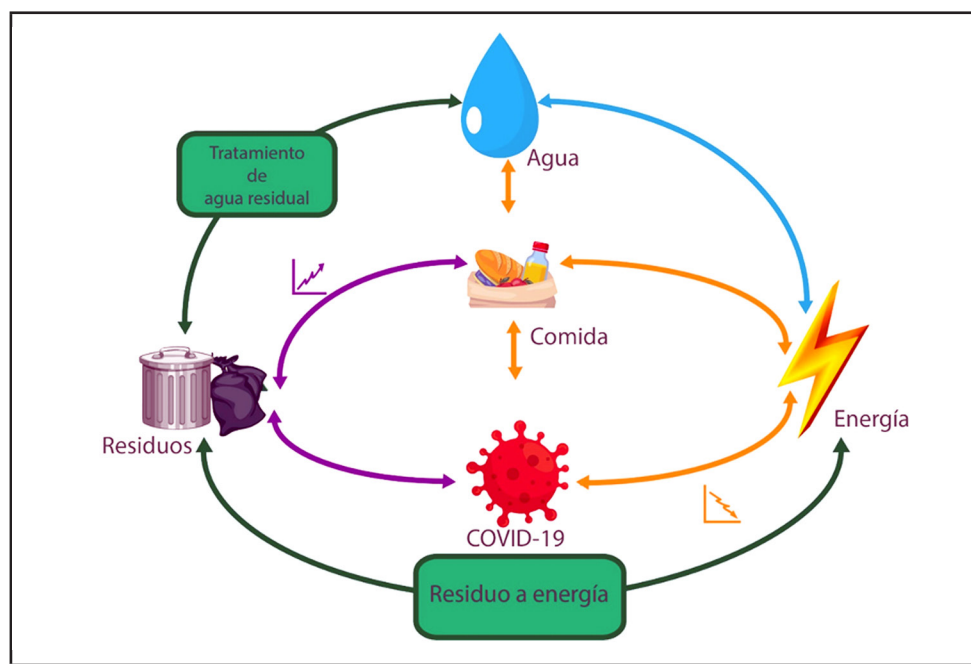


FIGURA 3

Diagrama de impacto de COVID-19 con el nexo entre agua-energía-alimentos y desperdicio.

Fuente: adaptado de Zhao y You (2021).

En este enfoque se presentan diferentes escenarios para diferentes niveles de desperdicio de alimentos procesados, los cuales muestran cómo se ve afectada la interacción entre los costos totales del proceso y los costos individuales del procesamiento de desperdicios de alimentos a través de digestores anaeróbicos. Con esta estrategia, las principales ventajas son visibles en la producción de electricidad y calor. Para el caso de estudio seleccionado (Nueva York), la solución óptima tiene potencial para reducir las cantidades de residuos alimenticios hasta en un 38% (aproximadamente 115 000 toneladas) de la cual se obtienen beneficios económicos de 890 000 dólares derivados de las ventas de biogás y energía eléctrica. En este aspecto, las ganancias corresponden a 11.9 dólares por cada tonelada de residuos alimenticios procesados, lo cual ayuda a mitigar el impacto social y ambiental a partir de la pandemia. Esta estrategia produce grandes resultados al tomar el desperdicio de alimentos como fuente de energía al convertirlo en una gran alternativa siempre que se cuente con una adecuada infraestructura de manejo de desperdicios en la región donde se realice.

4. OPTIMIZACIÓN METAHEURÍSTICA

Existen diversos problemas donde las técnicas tradicionales de optimización determinista presentan inconvenientes, sobre todo donde existen múltiples máximos y mínimos relativos o locales, puesto que estos métodos pueden quedar atrapados en una solución subóptima (Balandin y Kogan, 2016). Una alternativa para solucionarlos es el empleo de la optimización metaheurística, técnica de optimización basada en un conjunto de parámetros basados en el conocimiento para encontrar soluciones en el espacio de investigación de manera más eficiente que en los métodos tradicionales; además, se cuenta con la posibilidad de usar algoritmos genéticos, los cuales recurren a técnicas de optimización inspiradas en la evolución biológica con mecanismos como reproducción, mutación, mezcla de genes y selección; así también, está la optimización estocástica, la cual busca la mejor solución mediante el uso de la aleatoriedad para encontrar un resultado óptimo.

4. 1. Gestión de recursos médicos en situaciones de emergencia

En situaciones de emergencia como las provocadas por el COVID-19 una buena gestión de los recursos disponibles es fundamental para mantener una buena calidad de vida. Por ejemplo, en China se designaron hospitales para enfermos graves o en estado crítico a causa de este virus. La mortalidad de los enfermos graves fue del 10.4% y la de los pacientes críticos fue del 39.6% (Wu y McGoogan, 2020). Esta alta tasa de mortalidad se relaciona principalmente con la sobresaturación de los hospitales y la escasez de recursos médicos, condición que se ha repetido en México y en muchas otras regiones, donde la falta de instalaciones médicas como hospitales y laboratorios ya estaba presente. Por tanto, la pandemia actual muestra la necesidad de financiar nuevos hospitales y laboratorios para afrontar futuras pandemias aprendiendo de los errores del pasado (Nawaz *et al.*, 2020).

Hernández-Pérez y Ponce-Ortega (2021) desarrollaron una estrategia de optimización multiobjetivo basada en programación matemática para escenarios de emergencia (como la pandemia actual) utilizando optimización metaheurística, así como algoritmos de optimización evolutiva y optimización estocástica. Esta estrategia se basa en la incertidumbre creada por el uso de factores aleatorios. En este trabajo se implementó el uso de ambas técnicas de optimización (determinista y metaheurística). Para hacerlo posible, se estableció un vínculo entre los algoritmos de cada enfoque y se desarrolló un código que permite vincular Microsoft, Excel y GAMS mediante archivos de intercambio de datos GAMS (GDX). La vinculación entre estos programas se obtiene mediante la acción de código o subrutinas desarrolladas en el entorno de Visual Basic. Gracias a una serie de algoritmos diferentes esta estrategia multiobjetivo (con metas sociales y económicas) ayuda a distribuir pacientes desde hospitales saturados a hospitales con espacio por medio de los mismos equipos médicos existentes o mediante la compra de nuevos equipos. De esta forma se minimiza el número de pacientes a los que se les

niega el ingreso hospitalario por falta de equipamiento, lo que contribuye indirectamente al número de vidas salvadas. En cuanto a la parte económica, busca reducir los costos asociados con el transporte y la adquisición de nuevos equipos médicos (figura 4).

Para probar la efectividad de esta estrategia, los autores seleccionaron como caso de estudio diversos hospitales que se encuentran dentro de las regiones de Nueva York, Nueva Jersey, Connecticut, Pensilvania y Delaware. Para la correcta distribución de pacientes, se clasificaron en dos tipos: aquellos que requieren camas hospitalarias y aquellos que requieren unidades de cuidados intensivos (UCI). La solución óptima de este modelo obtiene un costo total minimizado de 173 millones de dólares en gastos asociados pacientes del primer tipo y 42 millones de dólares para pacientes del segundo tipo. Por otro lado, los resultados de la aplicación de esta estrategia se traducen en 24 000 personas beneficiadas.

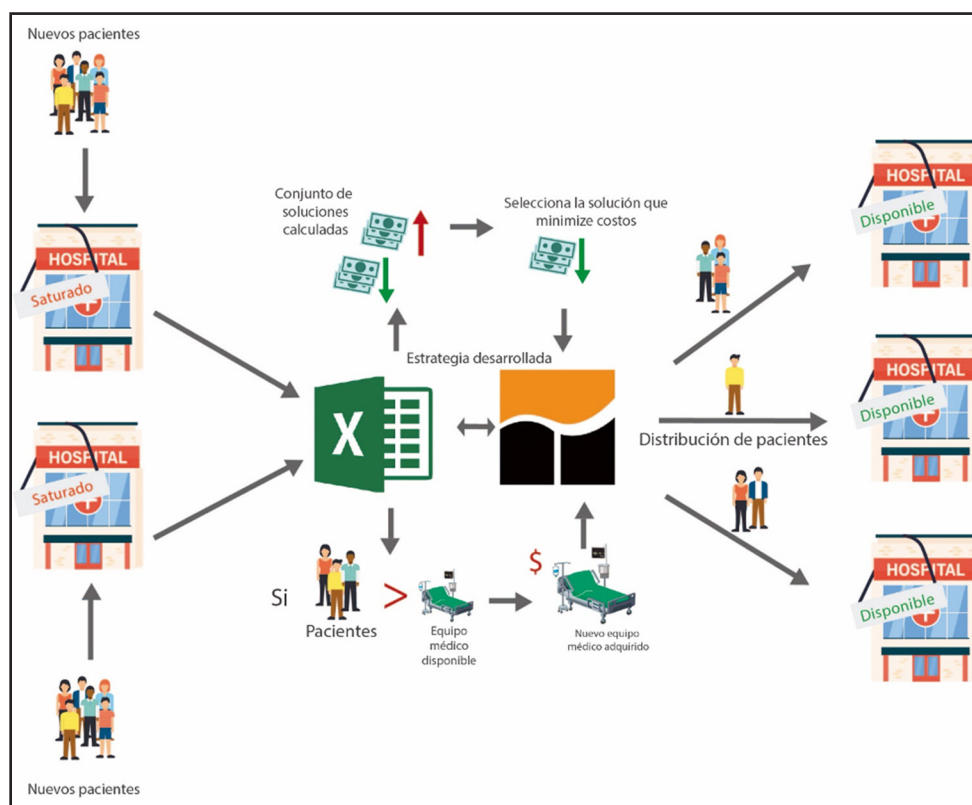


FIGURA 4

Esquema de distribución para pacientes que considera la minimización de costos y utiliza la optimización metaheurística

Fuente: adaptado de Hernández-Pérez y Ponce-Ortega (2021).

PROSPECTIVA

Se presentan estrategias de optimización empleadas para resolver las problemáticas que trajo consigo el COVID-19, las cuales han puesto en duda si la sociedad está preparada para hacer frente a una pandemia. Debido al daño social, económico y ambiental generado desde sus inicios, resulta de vital importancia el desarrollo de estrategias que permitan prevenir, detener y revertir los impactos causados a la población en general. De esta manera, la difusión de estrategias de optimización que aborden futuras crisis sanitarias aporta soluciones viables y un punto de partida de investigaciones posteriores de gran valor para preservar la calidad de vida en situaciones futuras similares.

CONCLUSIONES

Puede parecer que la optimización matemática es ajena a la lucha contra la pandemia; sin embargo, esto está lejos de la realidad porque la optimización es efectiva para preservar la calidad de vida en una situación de tal magnitud. Por otro lado, la inclusión de la optimización matemática en el campo médico relacionado con situaciones de emergencia (como la pandemia actual) aún no se ha explorado a fondo; este escenario motivaría nuevas propuestas y direcciones de investigación con enormes beneficios. A continuación, se presentan algunas ideas útiles para futuros trabajos:

- a) Modelos de distribución de vacunas (y otros recursos médicos) que consideren la existencia de múltiples vacunas a la vez bajo distintos periodos multivariados de tiempo.
- b) Modelos de optimización que incorporen máquinas de aprendizaje (modelos híbridos) a las estrategias del nexo agua-energía-alimentos-desperdicios y gestión de recursos médicos que propicien estimaciones a futuro y permitan mejorar la planificación estratégica.

Con el desarrollo de los modelos mostrados en este artículo y los que están por venir, la próxima vez que la sociedad se enfrente a una pandemia (lo cual es seguro que ocurra), estará mejor preparada no sólo por cómo utilizar herramientas como la optimización, sino también por el conocimiento generado en otros campos de la ciencia y la tecnología. Se recomienda consultar el artículo “Use of Mathematical Approaches for Addressing COVID-19 Pandemic — a Critical Review” (Ochoa-Barragán *et al.*, 2021), en donde se lleva a cabo una revisión exhaustiva y comparativa entre diferentes estrategias de optimización desarrolladas para atender problemáticas del COVID-19.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero brindado por Conacyt y CIC-UMSNH. Además, se agradecen los comentarios de los revisores de CIENCIA *ergo-sum* que ayudaron a mejorar y enriquecer el artículo.

REFERENCIAS

- Arrow, K. (1950). A difficulty in the concept of social welfare. *Journal of Political Economy* *Journal of Political Economy*, 58(4), 328-346. <https://doi.org/10.1086/256963>
- Balandin, D. V., & Kogan, M. M. (2016). Pareto suboptimal solutions in control and filtering problems under multiple deterministic and stochastic disturbances. *European Control Conference*. <https://doi.org/10.1109/ECC.2016.7810628>
- Cansino-Loeza, B., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125194. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125194>
- Capoor, M. R., & Parida, A. (2021). Current perspectives of biomedical waste management in context of COVID-19. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 39(2), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.ijmmb.2021.03.00>
- Chung, H. (2017). The instability of John Rawls’s “stability for the right reasons”. *Episteme*, 1-17. <https://doi.org/10.1017/epi.2017.14>

- Cole, R., & Gkatzelis, V. (2018). Approximating the Nash social welfare with indivisible items. *SIAM Journal on Computing*, 47(3), 1211-1236. <https://doi.org/10.1137/15m1053682>
- Gunantara, N. (2018). A review of multi-objective optimization: Methods and its applications. *Cogent Engineering*, 5(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1502242>
- Hernández-Pérez, L. G., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Multi-objective optimization approach based on deterministic and metaheuristic techniques to resource management in health crisis scenarios under uncertainty. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5, 429-443. <https://doi.org/10.1007/s41660-020-00154-3>.
- Loh, H. C., Looi, I., Ch'ng, A. S. H., Goh, K. W., Ming, L. C., & Ang, K. H. (2021). Positive global environmental impacts of the COVID-19 pandemic lockdown: a review. *GeoJournal*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10475-6>
- Mujkic, Z., Qorri, A., & Kraslawski, A. (2018). Sustainability and optimization of supply chains: A literature review. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), 186-199. <https://doi.org/10.31387/oscm0350213>
- Munguía-López, A. C., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Fair allocation of potential COVID-19 vaccines using an optimization-based strategy. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5(1), 3-12. <https://doi.org/10.1007/s41660-020-00141-8>.
- Nawaz, A., Su, X., Barkat, M. Q., Asghar, S., Asad, A., Basit, F., & Raheel Shah, S. A. (2020). Epidemic spread and its management through governance and leadership response influencing the arising challenges around covid-19 in Pakistan—a lesson learnt for low income countries with limited resource. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.573431>
- Nonato, L. G., Peixoto, P., Pereira, T., Sagastizábal, C., & Silva, P. J. (2022). Robot dance: A mathematical optimization platform for intervention against COVID-19 in a complex network. *EURO Journal on Computational Optimization*, 10, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2022.100025>
- Ochoa-Barragán, R., Munguía-López, A. del C., & Ponce-Ortega, J. M. (2021). Use of mathematical approaches for addressing COVID-19 pandemic—a critical review. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s41660-021-00190-7>
- Peng, Y., Wu, P., Schartup, A., & Zhang, Y. (2021). Plastic waste release caused by COVID-19 and its fate in the global ocean. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(47). <https://doi.org/10.1073/pnas.2111530118>
- Rubio-Castro, E., Ponce-Ortega, J. M., Cervantes-Gaxiola, M. E., Hernández-Calderón, O. M., Ortiz-del-Castillo, J. R., Milán-Carrillo, J., & Meza-Contreras, J. A. (2016). Optimal design of integrated agricultural water networks. *Computers & Chemical Engineering*, 84, 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.08.006>
- Sessarego, M., Dixon, K. R., Rival, D. E., & Wood, D. H. (2014). A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for wind-turbine blade optimization. *Engineering Optimization*, 47(8), 1043-1062. <https://doi.org/10.1080/0305215x.2014.941532>
- Silveira, E. A., N. Kliemann, M. Noll, N. Sarrafzadegan, & De Oliveira, C. (2021). Visceral obesity and incident cancer and cardiovascular disease: An integrative review of the epidemiological evidence. *Obesity Reviews*, 22(1), e13088. <https://doi.org/10.1111/obr.13088>.
- WHO (World Health Organization). (2022). Statement for healthcare professionals: How COVID-19 vaccines are regulated for safety and effectiveness. *World Health Organization*. Retrieved from <https://www.who.int/news/item/17-05-2022-statement-for-healthcare-professionals-how-covid-19-vaccines-are-regulated-for-safety-and-effectiveness>

- Wu, Z., & McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) Outbreak in China: Summary of a Report of 72 314 cases from the Chinese center for disease control and prevention. *Journal of the American Medical Association*, 323(13), 1239-1242. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.2648>.
- Zhao, N., & You, F. (2021). Food-energy-water-waste nexus systems optimization for New York State under the COVID-19 pandemic to alleviate health and environmental concerns. *Applied Energy*, 282, 116181. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116181>.

CC BY-NC-ND



Synthetic Biology and the Boost of COVID-19 Vaccines Technology Development through International Alliances

Muñoz-Miranda, Luis Alfonso; Arreola-Hernández, Ana Sofía; Figueroa-Yáñez, Luis Joel
Synthetic Biology and the Boost of COVID-19 Vaccines Technology Development through International Alliances
CIENCIA *ergo-sum*, vol. 29, núm. 4. Número especial “SARS-CoV-2”, 2022 | **e182**
Espacio del Divulgador

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Muñoz-Miranda, L. A., Arreola-Hernández, A. S. y Figueroa-Yáñez, L. J. (2022). Synthetic Biology and the Boost of COVID-19 Vaccines Technology Development through International Alliances. CIENCIA *ergo-sum*, 29(4). Número especial “SARS-CoV-2”. <https://doi.org/10.30878/ces.v29n4a5>

Synthetic Biology and the Boost of COVID-19 Vaccines Technology Development through International Alliances

Biología sintética y el impulso del desarrollo tecnológico de las vacunas COVID-19 mediante alianzas internacionales

Luis Alfonso Muñoz-Miranda

Universidad de Guadalajara y Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., México.

luis.mmiranda@academicos.udg.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-3964-7170>

Recepción: 10 de junio de 2022

Aprobación: 27 de octubre de 2022

Ana Sofía Arreola-Hernández

Materiales Ilimita S.A.P.I., México

sofia.arreola@ilimita.digital

 <http://orcid.org/0000-0002-0890-5686>

Luis Joel Figueroa-Yáñez*

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., México

lfigueroa@ciatej.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-7283-8035>

ABSTRACT

The importance of the development of the necessary technology to achieve the production of vaccines from a “synthetic biology” perspective is analyzed, as well as the essential articulation and financing through international cooperation to combat COVID-19, all the information on this topic is from the bibliographical research on topics focused on the development, cooperation, and international regulations involved in the synthesis of COVID-19 vaccines. A comprehensive vision on the recent development strategies on health and bioeconomy issues is proposed to face future eventualities and thus promote better health-oriented developments with the possibilities of immediate action.

KEYWORDS: synthetic biology, vaccines, COVID-19.

RESUMEN

Se analiza la importancia del desarrollo de la tecnología necesaria para lograr la producción de vacunas desde una perspectiva de “biología sintética”, así como la imprescindible articulación y financiación a través de la cooperación internacional para combatir la COVID-19, todo ello, a partir de la investigación bibliográfica sobre temas enfocados con el desarrollo, participación y regulaciones internacionales involucradas en la síntesis de vacunas COVID-19. Aquí se propone una visión integral sobre las recientes estrategias de desarrollo en temas de salud y bioeconomía para enfrentar futuras eventualidades y así propiciar mejores desarrollos encaminados a la salud con las posibilidades de una actuación inmediata.

PALABRAS CLAVE: biología sintética, vacunas, COVID-19.

INTRODUCTION

Synthetic biology aims to move quickly from idea to product, at a low cost, generating relevant and reliable results (Clarke, 2020). To achieve this goal, it is necessary to optimize each of the design-build-test (DBT) components that are part of the production paradigm of any biologic, device, or drug. Emerging technologies (such as CRISPR-Cas and data science) can trigger the evolution of automated production systems (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2018).

AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

*lfigueroa@ciatej.mx

In the medical industry, one of the main bottlenecks is demand since the continuous synthesis of biological materials is required. Due to this need, the importance of streamlining processes and improving technology arises (Katz *et al.*, 2021; Kelwick *et al.*, 2020; Kohn, 2004). Since the H1N1 pandemic in 2009, and later, with the emergence of H7N9 avian influenza in 2013, scientists at the J. Craig Venter Institute in San Diego, CA. and Synthetic Genomics Inc. raised concerns about driving highly efficient and fully automated platforms in the production of biologics for the medical industry (Boles *et al.*, 2017; Dolgin, 2020, 2021).

The emergence of SARS-CoV-2 in Wuhan in China (December 2019) reactivated the development of devices and rapid tests to perform reliable diagnostics and search for effective treatments through drugs and therapies. In addition, the first attempts to immediately design and RNA, DNA, viral particle, or protein vaccine against COVID-19 were initiated (Brooks & Alper, 2021; Tan *et al.*, 2021). This paper aims to describe the importance of developing the technology necessary to automate the vaccine production process from a “synthetic biology” perspective and the articulation and funding needed through international cooperation to overcome the SARS-CoV-2 pandemic.

1. TECHNOLOGY DEVELOPMENT STRATEGY FOR COVID VACCINE DEVELOPMENT

Previous experience in the scientific field and the development and production of vaccines worldwide led to the decision to use mainly a portion of the SARS-CoV-2 mRNA that translates the S protein, which alerts the immune system and then introduces it intramuscularly as synthetic mRNA, with a carrier. Other delivery options were also contemplated, either within a viral particle or the delivery of viral DNA vectors (Forni *et al.*, 2021). On March 16, 2020, just 66 days after the SARS-CoV-2 viral genome was released, the first human trial was conducted by administering the first vaccine created by Moderna and the National Institute of Health (NIH) (Haynes, 2021; Rappuoli *et al.*, 2021).

2. INTERNATIONAL COOPERATION AND PROMOTION OF COVID VACCINE TECHNOLOGY DEVELOPMENT

The expertise acquired during the production and development of vaccines during the H1N1 pandemic contemplated the need to articulate international cooperation. The Coalition for Epidemic Preparedness Innovations (CEPI) is a global partnership to develop vaccines to overcome future epidemics, to which Mexico belongs and was founded in 2017 in Davos, Switzerland. Interestingly, in September 2017 and before the release of COVID-19, CEPI funded three technology platforms: an mRNA vaccine printer (RNA Printer™), a molecular clamp platform, and a self-amplifying RNA vaccine platform. The RNA Printer™ was a prototype developed by CEPI and CureVac AG for small-scale, fully automated, and portable (mRNA) printing. Viral surface proteins are molecularly unstable and change shape; this instability results in an immune response that produces antibodies that do not effectively bind to viruses and therefore are unable to prevent infection. Therefore, the molecular clamp platform is crucial for developing protein-based vaccines; this project is underway at The University of Queensland. A self-amplifying RNA vaccine platform aims to harness the body's cellular machinery to produce an antigen (i. e., a foreign substance that induces an immune response) rather than injecting the antigen directly. This technology is under development by Imperial College London (CEPI, 2021b).

In 2018, CEPI and Imperial College London formally agreed on developing a self-amplifying RNA vaccine (saRNA) platform. By February 2019, CEPI and CureVac AG reiterated the continued development of the prototype of the RNA Printer™ for small-scale, fully automated, and portable mRNA printing. Interestingly, in 2013-2017, Kent Boles and collaborators published and patented the prototype of a system capable of producing biomolecules, developing a platform that merged the advances obtained up to that moment, under a “synthetic biology” perspective, with cutting-edge vaccine manufacturing technologies which employ RNA or DNA. This system has recently come on the market under name BioXp™ 3250 platform. Currently, two companies are producing an automated mRNA printer in series: Tesla Inc., which was implemented for CureVac AG, and the BioXp™ 3250 system from CODEX DNA (CEPI, 2021a; Christodoulou, 2018; Codex DNA, 2020).

3. ACCELERATING THE COVID-19 VACCINE DEVELOPMENT

CEPI, the Gavi Vaccine Alliance (Gavi), and the World Health Organization (WHO) have launched the “ACT Accelerator” for vaccines to accelerate the development of an effective vaccine for all countries. Thus, the International Federation of Pharmaceutical Manufacturers and Associations (IFPMA) joins the global public-private partnership, ACT Accelerator. IFPMA finally published vaccine policy principles guiding its work with ACT Accelerator Vaccines Partnership (COVAX). Several IFPMA members, associations, and consortia have joined different initiatives such as COVID-19 Therapeutics Accelerator (ACT), Accelerating COVID-19 Therapeutic Interventions and Vaccines (ACTIV), and Corona Accelerated R&D in Europe (CARE). In March 2021, Chatham House, IFPMA, Biotechnology Innovation Organization (BIO), Developing Countries Vaccine Manufacturers Network (DCVMN), and CEPI assessed the urgency for COVID-19 vaccine production to reach its full potential. In this meeting, it was noted that vaccine manufacturing processes are very complex, involving cutting-edge science and technology, and addressed manufacturing capacity issues, complex technology transfer management, and international supply chain management. Issues related to manufacturing capacity, raw material availability, policy, regulation, production improvement, supply-demand, and forecasting-visibility were also assessed, considering the potential impacts on production for both COVID-19 and non-COVID-19 materials (IFPMA, 2020; WHO, 2021).

4. INTERNATIONAL REGULATIONS TO BE FOLLOWED TO COMBAT COVID-19

Due to the imminent deployment of COVID-19 drugs and vaccines, it became necessary to articulate a rigorous global regulatory harmonization based on scientific evidence. On November 6, 2020, the World Health Organization and the International Coalition of Medicines Regulatory Authorities issued a joint statement (WHO-ICMRA). As in other areas of the pandemic response, multilateral cooperation among regulatory agencies has been crucial to ensuring that COVID-19 vaccines and drugs are safe, effective, and quality assured, benefiting all countries equally and simultaneously. At the same time, the scientific community in both public and private sectors have responded immediately and responsibly to develop vaccines worldwide, receiving millions of dollars in contributions to encourage technological platforms for diagnostics, vaccines, antibody therapy, drugs, and others to combat COVID-19 (WHO, 2020).

5. COMPANIES WITH A “SYNTHETIC BIOLOGY” PROFILE INVOLVED IN THE DEVELOPMENT OF VACCINES, DEVICES, AND DRUGS AGAINST COVID-19

Companies such as Concentric (by Ginko) have focused on innovation, developing *in situ* tests for schools and companies. Mammoth Biosciences has developed detection platforms for SARS-CoV-2 through CRISPR technology. Sarah Ives of Distributed Bio developed the broad-spectrum Centivax flu vaccine technology in December 2020. On December 31, 2020, Charles River Laboratories International, Inc. announced the acquisition of Distributed Bio, Inc. (Cumbers, 2020).

A brief list of diagnostic technologies, drugs, and therapies, as well as vaccines so far developed for SARS-CoV-2 diagnosis, are the followings: Portable detection devices based on electrochemical or optical biosensors, surface plasmon resonance and field-effect transistor biosensors, as well as rapid molecular tests based on loop-mediated isothermal amplification (LAMP), Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction (RT-PCR) and SARS-CoV-2 antigen rapid tests (Dinnes *et al.*, 2021; Sadighbayan & Ghafar-Zadeh, 2021). For patients with COVID-19, the treatments are newly developed molecules and new uses for those already authorized for other conditions (Rastogi *et al.*, 2020).

Current COVID vaccine synthesis platforms are mainly based on attenuated SARS-CoV-2 virus, inactivated SARS-CoV-2 virus, SARS-CoV-2 viral proteins, naked DNA or mRNA, and others under development (Puspharajah *et al.*, 2021). On the other hand, the development of other automated technology platforms continues to produce “multivalent” vaccines that include protection against influenza, MERS, SARS, and SARS-CoV and are also based on DNA templates, RNA molecules, proteins, and viral particles (Li *et al.*, 2021). Due to the pandemic caused by SARS-CoV-2, vaccine synthesis platforms have evolved exponentially, in such a way that this experience will be applied to develop vaccines in order to prevent or eradicate other infectious diseases such as: Retroviral enteritis, hepatitis, parotitis, etc. The next generation of vaccine manufacturing will include not only the well-known technologies of attenuated viruses, inactivated viruses, and viral proteins, but also toxoids, synthetic viral particles, synthetic peptides, polysaccharides, conjugated polysaccharides, bacterial vectors/synthetic antigen-presenting cells, etc. (Ghattas *et al.*, 2021). Therefore, if vaccine synthesis platforms evolve rapidly, delivery technologies for biomolecules, drugs and viral particles must be innovative, so that vaccine delivery devices such as: skin patch, nanoneedles, mucosal or inhaled dispensers, oral dispensers, tablets and more, are currently being developed (Abdellatif *et al.*, 2021; Ulmer *et al.*, 2015).

Established and emerging companies (created under the concept of “synthetic biology”) have a significant opportunity niche. Today, in the spotlight, there are ten companies ranked at the top of the world which have been created with the “synthetic biology” vision: *a)* public companies: Codexis, Ginko Bioworks, Twist Bioscience, Precigen, and Amyris; and *b)* private companies: Apeel Sciences, Insitro, ElevateBio, National Resilience, Impossible Foods. Also mentioned are promising companies such as Anthenia, Beam Therapeutics, Berkeley Lights, Codex DNA, Sana Biotechnology, Synlogic, Synthego, and Zymergen (Philippidis, 2021).

PROSPECTIVE

The pandemic caused by SARS-CoV-2 highlighted the enormous need to improve the processes involved in developing biosensors, drugs, and vaccine manufacturing. In general, the market for biomaterials is vast and rapidly expanding. It is a reality that automated systems to produce medical supplies are the formula to respond quickly to any health contingency. Synthetic biology, through continuous optimization and the DBT paradigm or model, is a compelling promise for responding to future pandemics. Due articulation in international cooperation and regulations has already taken essential steps that lay the foundation for the following actions to respond to pandemics. It is evidently a necessity that each country is willing to develop or install technologies to stop today's dependency in terms of technology and research for the production of biomaterials.

CONCLUSIONS

Due to the global outlook exerted by the appearance of SARS-CoV-2, the development of technology-based on a “synthetic biology” vision is crucial for the fight against emerging diseases. Since “synthetic biology” is supported by essential disciplines such as systems biology, computational biology, biotechnology, robotics, molecular biology, and many more, its use will be crucial to the DBT paradigm in the design of biomaterial production systems. We can assure we are living a moment of great opportunity for this new vision of technological development in the global bioeconomy.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank to Joan Luis Daniel Florescano Castellanos, Anne Christine Gschaedler Mathis and Inocencio Higuera Ciapara for his help and advice to this work.

REFERENCES

- Abdellatif, A. A. H., Tawfeek, H. M., Abdelfattah, A., El-Saber Batiha, G., & Hetta, H. F. (2021). Recent updates in COVID-19 with emphasis on inhalation therapeutics: Nanostructured and targeting systems. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 63, 102435. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2021.102435>
- Boles, K. S., Kannan, K., Gill, J., Felderman, M., Gouvis, H., Hubby, B., Kamrud, K. I., Venter, J. C., & Gibson, D. G. (2017). Digital-to-biological converter for on-demand production of biologics. *Nature Biotechnology*, 35(7), 672-675. <https://doi.org/10.1038/nbt.3859>
- Brooks, S. M., & Alper, H. S. (2021). Applications, challenges, and needs for employing synthetic biology beyond the lab. *Nature Communications*, 12(1), 1-16. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21740-0>
- CEPI (2021a). *New vaccines for a safer world*. Retrieved from <https://cepi.net/>
- CEPI (2021b). *Platform Technologies*. Retrieved from https://cepi.net/research_dev/technology/
- Christodoulou, M. (2018). *CEPI partners with Imperial College to develop transformative rapid-response technology to create vaccines against emerging infectious diseases*. Retrieved from https://cepi.net/news_cepi/cepi-partners-with-imperial-college-to-develop-transformative-rapid-response-technology-to-create-vaccines-against-emerging-infectious-diseases/
- Clarke, L. (2020). Synthetic biology, engineering biology, market expectation. *Engineering Biology*, 4(3), 33-36. <https://doi.org/10.1049/enb.2020.0021>
- Codex DNA (2020). *Meet the BIOXP™ 3250 system, our new automated synthetic biology workstation*. Retrieved from <https://codexdna.com/2020/08/26/meet-the-bioxp-3250-system-our-new-automated-synthetic-biology-workstation/>
- Cumbers, J. (2020). Synthetic biology versus coronavirus: Three women in a cutting-edge field using biological engineering to save lives. *FORBES*. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2020/09/10/synthetic-biology-versus-coronavirus-three-women/?sh=9ac460ddf08d>
- Dinnes, J., Deeks, J. J., Berhane, S., Taylor, M., Adriano, A., Davenport, C., Dittrich, S., Emperador, D., Takwoingi, Y., ... & Cochrane COVID-19 Diagnostic Test Accuracy Group (2021). Rapid, point-of-care antigen and molecular-based tests for diagnosis of SARS-CoV-2 infection. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8(8), CD013705. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013705.pub2>
- Dolgin, E. (2020, September 28). Synthetic biology speeds vaccine development. *Nature*. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/d42859-020-00025-4?sf245856610=1>
- Dolgin, E. (2021, January 12). How COVID unlocked the power of mRNA. *Nature*. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00019-w>
- Forni, G., Mantovani, A., Forni, G., Mantovani, A., Moretta, L., Rappuoli, R., Rezza, G., Bagnasco, A., Barsacchi, G., Bussolati, G., ... COVID-19 Commission of Accademia Nazionale dei Lincei (2021). COVID-19 vaccines: Where we stand and challenges ahead. *Cell Death and Differentiation*, 28, 626-639. <https://doi.org/10.1038/s41418-020-00720-9>
- Ghattas, M., Dwivedi, G., Lavertu, M., & Alameh, M. G. (2021). Vaccine technologies and platforms for infectious diseases: Current progress, challenges, and opportunities. *Vaccines*, 9(12), 1490. <https://doi.org/10.3390/vaccines9121490>
- Haynes, B. F. (2021). A new vaccine to battle Covid-19. *The New England Journal of Medicine*, 384(5). <https://doi.org/10.1056/nejme2035557>

- IFPMA (International Federation of Pharmaceutical Manufacturers and Associations). (2020). *IFPMA Policy Principles on COVID-19. Vaccines Initiative*. Retrieved from <https://www.ifpma.org/wp-content/uploads/2020/09/IFPMA-Policy-Principles-on-COVID-19-Vaccines-Initiative.pdf>
- Katz, N., Tripto, E., Granik, N., Goldberg, S., Atar, O., Yakhini, Z., Orenstein, Y., & Amit, R. (2021). Overcoming the design, build, test bottleneck for synthesis of nonrepetitive protein-RNA cassettes. *Nature Communications*, 12, 1576. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21578-6>
- Kelwick, R. J. R., Webb, A. J., & Freemont, P. S. (2020). Biological Materials: The Next Frontier for Cell-Free Synthetic Biology. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 399. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00399>
- Kohn, J. (2004). New approaches to biomaterials design. *Nature Materials*, 3, 745-747. <https://doi.org/10.1038/nmat1249>.
- Li, J., Zhao, H., Zheng, L., & An, W. (2021). Advances in synthetic biology and biosafety governance. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 598087. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.598087>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2018). Biotechnology in the Age of Synthetic Biology. In *Biodefense in the Age of Synthetic Biology*. Washington: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24890>
- Philippidis, A. (2021, July 2). Top 10 Synthetic Biology Companies. *Genetic Engineering & Biotechnology News*. Retrieved from <https://www.genengnews.com/a-lists/top-10-synthetic-biology-companies/>.
- Pushparajah, D., Jimenez, S., Wong, S., Alattas, H., Nafissi, N., & Slavcev, R. A. (2021). Advances in gene-based vaccine platforms to address the COVID-19 pandemic. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 170, 113-141. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2021.01.003>
- Rappuoli, R., De Gregorio, E., Del Giudice, G., Phogat, S., Pecceta, S., Pizza, M., & Hannon, E. (2021). Vaccinology in the post-COVID-19 era. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(3), e2020368118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020368118>
- Rastogi, M., Pandey, N., Shukla, A. & Singh, S. K. (2020). SARS coronavirus 2: from genome to infectome. *Respiratory Research*, 21(318), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01581-z>
- Sadighbayan, D., & Ghafar-Zadeh, E. (2021). Portable Sensing Devices for Detection of COVID-19: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 21(9), 10219-10230. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3059970>
- Tan, X., Letendre, J. H., Collins, J. J., & Wong, W. W. (2021). Synthetic biology in the clinic: engineering vaccines, diagnostics, and therapeutics. *Cell*, 184(4), 881-898. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.017>
- Ulmer, J. B., Mansoura, M. K., & Geall, A. J. (2015). Vaccines “on demand”: Science fiction or a future reality. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 10(2), 101-106. <https://doi.org/10.1517/17460441.2015.996128>
- WHO (World Health Organization). (2021). *COVAX: colaboración para un acceso equitativo mundial a las vacunas contra la COVID-19*. Retrieved from <https://www.who.int/es/initiatives/act-accelerator/covax>
- WHO (World Health Organization). (2020). *Declaración conjunta OMS-ICMRA sobre la necesidad de contar con una armonización normativa mundial mejorada en lo concerniente a medicamentos y vacunas contra la COVID-19*. Disponible en <https://www.who.int/es/news/item/06-11-2020-who-icmra-joint-statement-on-the-need-for-improved-global-regulatory-alignment-on-covid-19-medicines-and-vaccines>

Instrucciones para colaboradores

CIENCIA ergo-sum es una revista académica multidisciplinaria de prospectiva de la Universidad Autónoma del Estado de México, cuyo interés prioritario es que, con base en la rigurosidad académica, los artículos puedan incidir en la **toma de decisiones al extender sus conclusiones** de modo que no se queden en reportes de resultados sino que **apunten al futuro, den alternativas o adviertan los riesgos de preservar situaciones**. De este modo, se interesa en las colaboraciones que muestren la relevancia práctica, su utilidad y aplicabilidad para dar sustentabilidad social y responder a la problemática actual y futura.

Por lo que toca a los trabajos teóricos o de orden filosófico, el enfoque prospectivo ubicará el método o tratará el estado del arte del tema o de la frontera del conocimiento en cuanto a la discusión de la actualidad y la vigencia del paradigma. Para someter los trabajos a consideración del comité editorial, los colaboradores deberán apegarse a las siguientes normas editoriales:

1. Los originales serán sometidos a un proceso editorial que se desarrollará en varias fases. Primera: toda colaboración será objeto de una evaluación preliminar por parte del Comité Editorial y/o Dirección Editorial, quienes determinarán la pertinencia de turnarlo a dictamen. Segunda: una vez que se estableció que cumple con todos los requisitos formales indicados en estas instrucciones, será enviada a dos **árbitros externos**, quienes determinarán en **forma anónima**: a) publicar sin cambios, b) publicar cuando se hayan cumplido correcciones menores, c) publicar una vez que se haya realizado una revisión a fondo y d) rechazar. En caso de discrepancia entre ambos resultados, el trabajo se turnará a un tercer árbitro, cuya decisión será determinante.

Los resultados de la dictaminación son inapelables en todos los casos.

Para agilizar el proceso de dictaminación, cada artículo sometido a dictamen **deberá proponer a cuatro árbitros expertos en el tema con sus respectivos correos electrónicos**.

2. Cada colaboración se acompañará de una **declaración escrita en la que se especifique que no ha sido publicada y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones** antes de conocer la decisión del comité editorial.
3. Se aceptarán dos tipos de trabajos:
 - a) **Artículos científicos de cualquier área del conocimiento** (podrán estar escritos en español o inglés). Deberán ser de orden y de interés estrictamente académico, lo cual implica que podrán usarse términos, fórmulas y anotaciones técnicas haciendo las aclaraciones adecuadas.

En su caso, indicar si el artículo forma parte de un proyecto de investigación más amplio. En ningún caso excederán 25 cuartillas a doble espacio (40 000 caracteres), incluyendo cuadros y gráficos.

b) Trabajos de divulgación. Extensión máxima 15 cuartillas (24 000 caracteres). Se publicarán en las siguientes secciones fijas:

- **Espacio del divulgador:** son trabajos que presentan de manera accesible algún tema científico de interés general.
- **Ensayo científico:** son disertaciones generales sobre algún aspecto también general de la ciencia.

4. El artículo se remitirá electrónicamente en procesador Word a través de nuestra plataforma Open Journal Systems, previo registro: <http://cienciaergosum.uaemex.mx>

5. Cada artículo se acompañará de: a) datos generales del autor (nombre completo, resumen curricular no mayor a cinco líneas, **dirección postal y electrónica**, teléfono y lugar de adscripción); b) **resumen del artículo en español e inglés no mayor a 120 palabras**, traducción del título y palabras clave (no más de cinco).

6. Los autores podrán acompañar sus textos con gráficas, fotografías, mapas, esquemas, audiovisuales u otras imágenes interactivas, que deberán incorporarse como anexos evitando redundancias y citando correctamente su fuente. En caso indispensable, se publicarán a color. Deberán entregarse en formato TIF, JPG o GIF en alta resolución. Los cuadros y tablas, en procesador Excel y/o Word.

7. El título del trabajo indicará claramente el contenido y deberá ser breve (máximo 140 caracteres con espacios).

8. Deberán hacerse siempre las referencias bibliográficas que correspondan al texto. De no ser así e incurrirse en plagio intelectual o de cualquier índole, **CIENCIA ergo-sum** no asumirá ninguna responsabilidad y, por lo tanto, el autor tendrá que hacer frente a las leyes correspondientes.

9. Los trabajos deberán ser escritos cuidando las normas de ortografía y redacción, además de cumplir con las siguientes características generales:

- a) No usar guiones al final del renglón.
- b) Las notas a pie de página deberán utilizarse sólo si es absolutamente necesario y con interlineado sencillo.
- c) Para las citas dentro del texto se usará el formato Harvard (Loría, 2013: 7)
- d) Las referencias se ordenarán alfabéticamente al final del texto con todos los elementos de una ficha de acuerdo con la siguiente guía: <https://library.port.ac.uk/guides/docs/LG190.pdf>
- e) Usar referencias actuales (máximo cuatro años de antigüedad).

10. En los trabajos aceptados para publicarse, la dirección editorial se reserva el derecho de:

- a) Editarlos, imprimirlos, reimprimirlos y difundirlos en versión impresa, digital y en medios magnéticos.
- b) Hacer los cambios editoriales que considere convenientes.

11. La recepción y procesamiento de artículos no tiene costo.



Revista **CIENCIA ergo-sum**

CIENCIA ergo-sum se rige por las **normas y códigos de ética internacionales** establecidas por el Committee on Publication Ethics (Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors, COPE), que se pueden consultar en nuestra página o en <http://publicationethics.org>

En cumplimiento con la norma **ISO 9001-2008** que determina el *Proceso de edición de revistas*, se pueden consultar todos los procedimientos que sigue su colaboración desde el momento de someterse a nuestra redacción en el siguiente enlace http://ergosum.uaemex.mx/PROCEDIMIENTO_REVISTAS.pdf.

Leona Vicario 201, Barrio de Santa Clara. Toluca, Estado de México, C.P. 50090.

Teléfonos: 722 277 3835 y 722 277 3836 ext. 2109.

Correo electrónico: ciencia.ergosum@yahoo.com.mx

Página electrónica: <http://cienciaergosum.uaemex.mx/>

Twitter: [CIENCIA_ergosum](#) / Facebook: [Ciencia Ergo Sum](#)

Instructions for Contributors

CIENCIA ergo-sum is a Scientific and Prospective Multidisciplinary Scientific Journal of the Universidad Autónoma del Estado de México (Autonomous University of the State of Mexico). The journal has adopted a prospective profile in order to contribute to **decision making** and **looking forward into the future** analysis and introspection.

In this line of thinking, all the works at least should have several extensions, trying to point out to the future their main results. Discussions, coming out from the analysis, about practical-theoretical use, or contribution to social or human kind sustainability are highly encouraged.

1. All the works submitted will follow an editorial process. Firstly, each paper will be pre evaluated by the Editor or the Editorial Board.

According to this previous outcome, it will continue with the process or will be rejected. If positive, then it will be turned to a peer review process of which there are the possible results: a) to be published without changes; b) published after making corrections; c) to be published after a deep correction of the whole piece; d) rejected. In the case of having a positive and a negative result, the Editor will turn the work to a final decision, which **cannot be appealed**.

In order to **reduce the evaluation process all the submissions should suggest four referees with their e-mail accounts**.

2. It receives scientific papers also written in English from all fields.

3. We publish three issues a year (March, July and November).

4. Authors will comply with the following editorial rules:

- Papers cannot be submitted simultaneously to other publications.
- Previously published papers will not be accepted.
- Papers of a journalistic nature or general commentaries are not suitable, except those which increase the readers' scientific knowledge.

5. Two types of work will be accepted:

- **Scientific Contributions.** Must be strictly academic, and not exceed 25 pages (40 000 characters) including tables and figures.
- **General Scientific Work.** Maximum of 12 pages (19 200 characters). These papers

will be published in the regular sections under the following categories:

Essay: An academic work presenting reflections on any subject of any field of knowledge; and does not necessarily comply with the requirements for scientific papers.

Popularization of Science: Is related to disclosing any scientific topic in an interesting manner and does not necessarily comply with the requirements for scientific papers.

In any case, works with a future or prospective approach will be prioritized.

Research Progress Reports will not be accepted although they can be incorporated in the form of scientific papers and/or scientific works in which a specific investigation problem is defined, discussed and settled.

6. Each paper must be sent electronically (preferably Word), through our OJS platform (URL: <http://cienciaergosum.uaemex.mx>) accompanied with a presentation containing general data allowing **CIENCIA ergo-sum** easy access to the author (address, telephone number, postal and e-mail address), with an abstract of the paper (less than 120 words) and key words.

7. Authors may include in their texts illustrations (pictures, tables, maps, diagrams, audiovisuals or other interactive images) to be incorporated. Repetitions or redundancies must be avoided. Figures must be submitted in diskettes labeled with the program and file names. In all cases, they must be of good quality. Just if necessary color prints are allowed.

8. Titles and subtitles must be distinguished by the size of the characters and their position in the text (maximum 140 characters with spaces).

9. The introduction must clearly reflect the paper's background and introduce the reader to the subject.

10. References must always be given. Otherwise, **CIENCIA ergo-sum** will not assume responsibility for plagiarism, whether intellectual or not, and the author will be held liable.

11. Works must be written in upper and lower case letters and comply with normal editing standards:

References may appear as footnotes.

For references appearing in the text itself, the Harvard notation system will be used (<https://library.port.ac.uk/guides/docs/LG190.pdf>), i.e. surname, year of publication and page number in parentheses (Loría, 2013: 7)

References will appear alphabetically at the end of the text.

12. The publication will not be responsible for the contents of the papers. To use recent bibliography (Less than four years) is highly recommended.

13. The decision of the Editorial Board (Peer Review) cannot be appealed.

14. For papers accepted, the Editor reserves the right to:

- a) Edit, print and reprint the papers in paper, electronic and magnetic version.
- b) Make editorial and editing corrections if necessary.

15. Papers can be submitted electronically in Word format through the Open Journal Systems, previous register in: <http://cienciaergosum.uaemex.mx>

16. **Reccipt and processing pappars have no cost.**



Journal **CIENCIA ergo-sum**

CIENCIA ergo-sum follows the **rules and codes of ethics** established by the Committee on Publication Ethics (Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors, COPE), which are available on our website or <http://publicationethics.org>

In compliance to **ISO 9001-2008** certification, the editing procedure is available in the following link http://ergosum.uaemex.mx/PROCEDIMIENTO_REVISTAS.pdf

Leona Vicario 201, Barrio de Santa Clara. Toluca, Estado de México, C.P. 50090.

Phones: 722 277 3835 and 722 277 3836 ext. 2109.

E-mail: ciencia.ergosum@yahoo.com.mx

Website: <http://cienciaergosum.uaemex.mx/>

Twitter: [CIENCIA_ergosum](#) / Facebook: [Ciencia Ergo Sum](#)



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

