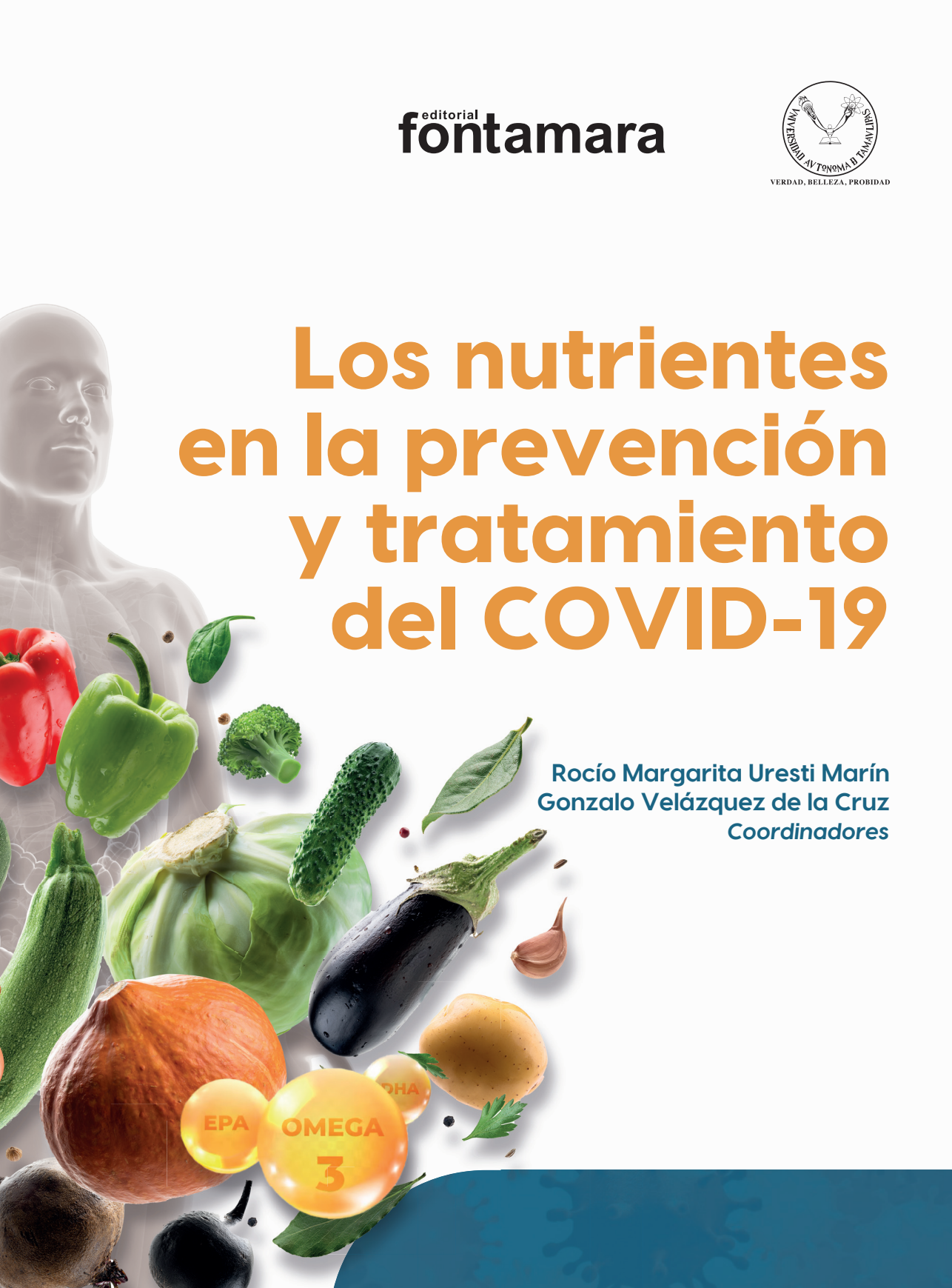




Los nutrientes en la prevención y tratamiento del COVID-19

Rocío Margarita Uresti Marín
Gonzalo Velázquez de la Cruz
Coordinadores

Los nutrientes en la prevención y tratamiento del COVID-19

Los nutrientes en la prevención y tratamiento del COVID-19 /Rocío Margarita Uresti Marín, Gonzalo Velázquez de la Cruz, coordinadores .—Cd. Victoria, Tamaulipas : Universidad Autónoma de Tamaulipas ; Ciudad de México : Editorial Fontamara , 2025.
107 págs. ; 17 x 23 cm.

1. Elementos nutritivos específicos

LC: RA645.N87 N8.7 2025

DEWEY: 613.28 MBNH3

Universidad Autónoma de Tamaulipas
Matamoros SN, Zona Centro
Ciudad Victoria, Tamaulipas C.P. 87000
D. R. © 2025

Consejo de Publicaciones UAT
Centro Universitario Victoria
Centro de Gestión del Conocimiento. Segundo Piso
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87149
Tel. (52) 834 3181-800 • extensión: 2905
cpublicaciones@uat.edu.mx • www.uat.edu.mx • https://libros.uat.edu.mx/

Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT
ISBN UAT: 978-607-8888-75-7

Editorial Fontamara, S.A. de C.V.
Av. Hidalgo No. 47-B, Colonia Del Carmen
Alcaldía de Coyoacán, 04100, CDMX, México
Tels. 555659-7117 y 555659-7978
contacto@fontamara.com.mx • coedicion@fontamara.com.mx • www.fontamara.com.mx
ISBN Fontamara: 978-607-736-979-0

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuera el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento del Consejo de Publicaciones UAT.
Libro digital

Esta obra y sus capítulos fueron sometidos a una revisión de pares a doble ciego, la cual fue realizada por especialistas pertenecientes al Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores. Asimismo, fueron aprobados para su publicación por el Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y el Comité Interno de la editorial Fontamara.



Los nutrientes en la prevención y tratamiento del COVID-19

Coordinadores:

Rocío Margarita Uresti Marín
Gonzalo Velázquez de la Cruz





MVZ MC Dámaso Leonardo Anaya Alvarado
PRESIDENTE

Dr. Fernando Leal Ríos
VICEPRESIDENTE

Dra. Dora María Lladó Lárraga
SECRETARIA TÉCNICA

Mtro. Eduardo García Fuentes
VOCAL

Dra. Rosa Issel Acosta González
VOCAL

CP Jesús Francisco Castillo Cedillo
VOCAL

MVZ Rogelio de Jesús Ramírez Flores
VOCAL

Comité Editorial del Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dra. Lourdes Arizpe Slogher • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Amalio Blanco** • Universidad Autónoma de Madrid, España | **Dra. Rosalba Casas Guerrero** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Francisco Díaz Bretones** • Universidad de Granada, España | **Dr. Rolando Díaz Lowing** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Manuel Fernández Ríos** • Universidad Autónoma de Madrid, España | **Dr. Manuel Fernández Navarro** • Universidad Autónoma Metropolitana, México | **Dra. Juana Juárez Romero** • Universidad Autónoma Metropolitana, México | **Dr. Manuel Marín Sánchez** • Universidad de Sevilla, España | **Dr. Cervando Martínez** • University of Texas at San Antonio, E.U.A. | **Dr. Darío Páez** • Universidad del País Vasco, España | **Dra. María Cristina Puga Espinosa** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. Luis Arturo Rivas Tovar** • Instituto Politécnico Nacional, México | **Dr. Aroldo Rodrigues** • University of California at Fresno, E.U.A. | **Dr. José Manuel Valenzuela Arce** • Colegio de la Frontera Norte, México | **Dra. Margarita Velázquez Gutiérrez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dr. José Manuel Sabucedo Cameselle** • Universidad de Santiago de Compostela, España | **Dr. Alessandro Soares da Silva** • Universidad de São Paulo, Brasil | **Dr. Akexandre Dorna** • Universidad de CAEN, Francia | **Dr. Ismael Vidales Delgado** • Universidad Regiomontana, México | **Dr. José Francisco Zúñiga García** • Universidad de Granada, España | **Dr. Bernardo Jiménez** • Universidad de Guadalajara, México | **Dr. Juan Enrique Marciano Medina** • Universidad de Puerto Rico-Humacao | **Dra. Ursula Oswald** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Arq. Carlos Mario Yori** • Universidad Nacional de Colombia | **Arq. Walter Debenedetti** • Universidad de Patrimonio, Colonia, Uruguay | **Dr. Andrés Piqueras** • Universitat Jaume I, Valencia, España | **Dra. Yolanda Troyano Rodríguez** • Universidad de Sevilla, España | **Dra. María Lucero Guzmán Jiménez** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Dra. Patricia González Aldea** • Universidad Carlos III de Madrid, España | **Dr. Marcelo Urra** • Revista Latinoamericana de Psicología Social | **Dr. Rubén Ardila** • Universidad Nacional de Colombia | **Dr. Jorge Gissi** • Pontificia Universidad Católica de Chile | **Dr. Julio F. Villegas †** • Universidad Diego Portales, Chile | **Ángel Bonifaz Ezeta †** • Universidad Nacional Autónoma de México

Índice

Prólogo	9
Capítulo 1. La responsabilidad social universitaria durante la pandemia del COVID-19	11
<i>Rocío Margarita Uresti Marín</i>	
Capítulo 2. Importancia de la alimentación en la pandemia por COVID-19	25
<i>Yessica Torres Caballero, Gonzalo Velázquez de la Cruz, Rocío Margarita Uresti Marín</i>	
Capítulo 3. Influencia de ácidos grasos en la membrana celular en la respuesta inmunológica frente al COVID-19	47
<i>Jonathan David Acuña Villarreal, Rocío Margarita Uresti Marín, José Alberto Ramírez de León</i>	
Capítulo 4. La relación de los ω-6/ω-3, en el síndrome de dificultad respiratoria aguda	65
<i>Ana Fernanda Flores Torres, Rocío Margarita Uresti Marín, Juan Francisco Castañón Rodríguez</i>	
Capítulo 5. Las EII, deficiencia de micronutrientes y la COVID-19	83
<i>Valeria Maylee González Medrano, Rocío Margarita Uresti Marín, Melissa Daniela González Hinojosa</i>	

Prólogo

En el umbral del siglo XXI, la humanidad ha enfrentado uno de sus desafíos más complejos y devastadores: la pandemia por COVID-19. Esta enfermedad, causada por el coronavirus SARS-CoV-2, no solo ha puesto a prueba los sistemas de salud globales, también ha llevado a científicos y a profesionistas de la salud a buscar soluciones innovadoras y eficaces para su prevención y tratamiento. En este contexto, la nutrición ha emergido como un componente vital en la lucha contra esta enfermedad.

Desde la universidad, la educación basada en la evidencia científica y la investigación implica adquirir conocimientos teóricos y también desarrollar habilidades prácticas para abordar los desafíos del mundo real. Durante el confinamiento global por el COVID-19, esta premisa tomó un nuevo significado para los educadores y estudiantes de la nutriología. Con la transición a clases en línea, se enfrentaron desafíos pedagógicos y sociales; pero también se tuvo la oportunidad para involucrar a los estudiantes en la búsqueda de soluciones a problemas de salud urgentes, fusionando así la responsabilidad social universitaria con la formación profesional.

Este libro es el testimonio de ese compromiso. Desde el inicio de la crisis de salud mundial, nos embarcamos en un viaje de descubrimiento y búsqueda del conocimiento nutricional en el contexto de la pandemia. Cada capítulo representa un eslabón en esa cadena, donde la investigación y el análisis crítico se unen para arrojar luz sobre aspectos vitales de la relación entre la nutrición y la COVID-19.

En el primer capítulo, “La responsabilidad social universitaria durante la pandemia de COVID-19”, reflexionamos sobre el papel crucial que desempeñan los educadores y los estudiantes universitarios en momentos de crisis, destacando la importancia de la investigación científica y el compromiso con la comunidad en tiempos de incertidumbre.

El segundo capítulo, “Importancia de la alimentación en la pandemia por COVID-19”, explora las complejas interacciones entre la dieta y la respuesta inmunológica frente a esta enfermedad viral, subrayando que una alimentación adecuada puede ayudar proteger la salud.

El tercer capítulo, “Funciones de los ácidos grasos omega 3 y 6 en la membrana celular”, nos lleva a comprender cómo los ácidos grasos esenciales moldean la arquitectura celular y, por ende, afectan nuestra salud en el contexto de la pandemia.

En el cuarto capítulo, “Equilibrio $\omega 6/\omega 3$ en COVID-19: prevención de inflamación pulmonar grave”, exploramos las estrategias nutricionales que pueden mitigar la gravedad de la respuesta inflamatoria pulmonar, destacando la importancia de un enfoque equilibrado en ácidos grasos esenciales.

Finalmente, el quinto capítulo, “Las EII, deficiencia de micronutrientes y el COVID-19”, examina las conexiones entre las enfermedades inflamatorias intestinales, la deficiencia de micronutrientes y la susceptibilidad al virus, resaltando la necesidad de abordar estas complejidades nutricionales durante la pandemia.

Este libro refrenda el compromiso con la excelencia académica, la investigación responsable y la contribución social, esperamos que inspire a futuros investigadores y profesionales de la nutrición a seguir explorando los horizontes de esta disciplina, encontrando nuevas formas de mejorar la salud y el bienestar de las comunidades.

Que este libro inspire nuevas preguntas, promueva la excelencia académica y nutra el espíritu investigador en la búsqueda constante de comprender, enfrentar y resolver los desafíos nutricionales en el contexto de la salud.

CAPÍTULO 1.

La responsabilidad social universitaria durante la pandemia del COVID-19

Rocío Margarita Uresti Marín¹

Resumen

La responsabilidad social universitaria (RSU) se ha vuelto relevante en la formación profesional, tanto en términos de conocimientos técnicos como en la adquisición de habilidades blandas y valores éticos necesarios para abordar los desafíos sociales y ambientales contemporáneos. La investigación formativa fomenta el pensamiento crítico y la reflexión, lo que permite a los estudiantes comprender mejor el impacto de sus acciones en la sociedad y desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles. Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación superior, especialmente durante la pandemia de COVID-19, destacan su papel en la democratización del acceso a la educación, la transformación de los entornos de aprendizaje y el desarrollo de habilidades necesarias para el futuro profesional de los estudiantes. Estos tres conceptos son parte de un enfoque holístico que fomenta el desarrollo integral, el bienestar y la preparación de los alumnos, con el fin de que puedan enfrentar los desafíos del mundo actual y futuro, promoviendo un desarrollo personal y profesional significativo.

Palabras clave: responsabilidad social universitaria, investigación formativa, TIC, COVID-19.

1. Introducción

La formación universitaria, que integra principios de responsabilidad social (RS) en la investigación científica, no solo amplía el entendimiento de los estudiantes sobre el alcance ético y social de sus proyectos, también impulsa una mentalidad proactiva centrada en el servicio comunitario. Reflexionar sobre cómo sus investigaciones pueden contribuir al bienestar colectivo, fomenta en ellos una actitud comprometida con el cambio social, trascendiendo las barreras del aula y

¹ UATSCDH Universidad Autónoma de Tamaulipas. ruresti@docentes.uat.edu.mx

laboratorios. Este enfoque, vital en tiempos de crisis, establece una sólida base para que los estudiantes resuelvan problemas prácticos, fortaleciendo sus habilidades y capacidad para integrar teoría y práctica. La conexión directa entre el aprendizaje y la solución de problemas tangibles aumenta la relevancia de la educación. La pandemia ha puesto de manifiesto la interdependencia global y la necesidad de colaboración multidisciplinaria para abordar desafíos urgentes. Enseñar a los estudiantes a utilizar sus conocimientos con RS fomenta su capacidad para trabajar en equipo y los sensibiliza sobre el impacto que sus acciones pueden tener en comunidades locales y globales.

La relevancia de la nutrición en la prevención de enfermedades nos recuerda la célebre cita de Hipócrates: “que tu comida sea tu medicina”, y resalta la necesidad de una buena alimentación para mantener una salud adecuada. Esta perspectiva, especialmente relevante durante la pandemia de COVID-19, ha servido para generar conciencia sobre los hábitos alimentarios como medida preventiva para la salud. La promoción de dietas nutritivas y equilibradas se ha convertido en una estrategia fundamental para fortalecer el sistema inmunológico y reducir el riesgo de enfermedades, identificando una relación entre alimentación y salud. En un contexto marcado por la incertidumbre y la vulnerabilidad, la adopción de estas prácticas es indispensable para promover el bienestar y la resiliencia. Reconocer las profundas repercusiones en la salud experimentadas por las familias durante la pandemia, desde la pérdida de seres queridos hasta el estrés emocional debido a la incertidumbre económica, destaca la importancia de la formación profesional en la comprensión y mitigación del sufrimiento humano. Trabajar juntos para superar estos desafíos sienta las bases para un futuro más resiliente y equitativo.

2. La responsabilidad social

A partir de la década de 1980, la RS comenzó a profesionalizarse y a integrarse en la gestión empresarial. Se crearon departamentos de responsabilidad social en muchas empresas y se establecieron estándares para medir el desempeño social y ambiental (Latapí et al., 2019). Los investigadores que comenzaron a explorarla provenían de diversos campos académicos: economía, ética, sociología y gestión empresarial. Tenían una formación académica diversa, pero compartían el interés por comprender el impacto en el bienestar general de las empresas y otras organizaciones en la sociedad (Licandro et al., 2023). La RS es una idea amplia que se aplica a todas las organizaciones y ámbitos. Es un concepto que se refiere al compromiso que tienen las organizaciones, ya sean empresas, instituciones educativas, gobiernos u otras entidades (García-Rivas et al., 2023). Las que practican la responsabilidad social van más allá de las ganancias, incorporando

en sus operaciones comerciales su moral y ética hacia la sociedad en general (Ali et al., 2021).

La RS es el compromiso voluntario de las organizaciones de actuar de manera transparente, teniendo en cuenta el impacto de sus decisiones y actividades en la sociedad y el medio ambiente. Esto implica cumplir con las obligaciones legales y económicas para contribuir al bienestar de las personas, las comunidades y el entorno, trabajando de manera responsable y sostenible para crear valor a largo plazo. Esta perspectiva se deriva de las contribuciones de numerosos académicos, líderes empresariales, organizaciones internacionales y otros expertos en el campo de la RS. Estas han abogado por una visión holística que va más allá del cumplimiento legal y económico, abarcando aspectos éticos, sociales y ambientales (Jiang, 2021). Algunos de los teóricos, académicos y líderes empresariales, cuyas ideas han influido en esta concepción más amplia de la RS, incluyen a Howard R. Bowen, Archie Carroll, John Elkington, Peter Drucker, entre otros. Además, organizaciones como las Naciones Unidas (ONU), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y el Pacto Mundial de las Naciones Unidas también han promocionado una visión integral de la responsabilidad social empresarial (RSE).

Los esfuerzos por abordar la RS culminaron en el desarrollo de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que abarcan una variedad de desafíos globales destinados a promover la calidad y seguridad para las generaciones actuales y futuras. Estos fueron desarrollados como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por los Estados miembros de las Naciones Unidas para transformar el mundo. Algunos puntos específicos son: a) garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos en todas las edades, b) garantizar una educación de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos, c) paz, justicia e instituciones sólidas para promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, proporcionar acceso a la justicia para todos y construir instituciones eficaces, responsables e inclusivas en todos los niveles (ONU, 2015).

2.1. La Responsabilidad Social Universitaria

La RSU es un enfoque que reconoce la importancia de las instituciones de educación superior (IES) para que asuman un compromiso activo con la sociedad y el medioambiente. Se trata de una perspectiva que va más allá de la tradicional función de las universidades, y busca que contribuyan de manera positiva al desarrollo sostenible y al bienestar de su comunidad (Ibarra et al., 2020). El concepto de RSU ha evolucionado en respuesta a los cambios en la sociedad y en las expectativas de las comunidades académicas. A partir de 1960, aumentó

la conciencia social y política en todo el mundo; las universidades, especialmente en países occidentales, se convirtieron en centros de protesta y activismo social. Los estudiantes y profesores comenzaron a cuestionar el papel de las instituciones académicas y a plantear un compromiso más directo con los problemas sociales. En la década de 1970 aumentaron las demandas para una mayor participación, algunas universidades comenzaron a adoptar enfoques más activos hacia la RS. Se establecieron programas de servicio comunitario e investigaciones sobre problemas sociales, por lo que la RSU se amplió para incluir preocupaciones ambientales y éticas (Mitropoulou, 2011).

La RSU es otra interpretación del fenómeno de RSE. El papel de una universidad en el mundo actual se ha expandido más allá del supuesto básico de producción y difusión de conocimientos, como ente educativo, debe cumplir con su función de defender los valores morales y éticos, proporcionando directrices para las soluciones razonables de la sociedad, con transparencia y respeto por los derechos humanos (Esfijani y Chang, 2012). Las IES deben ser motores de transformación y crecimiento social, alentando a estudiantes, personal académico y administrativo, formando recursos humanos locales y globales, ampliando el conocimiento humano a través de la investigación y la educación de calidad (Abrahão et al., 2024). Las universidades deben ofrecer educación de calidad mediante la formación de profesionales con habilidades y conocimientos para enfrentar los desafíos del mundo laboral, pero también personas íntegras, éticas y solidarias. Esto implica cultivar actitudes y valores como: responsabilidad, conciencia ética, reflexión, innovación y respeto por el medioambiente y las instituciones democráticas (Díaz de Aparraguirre, 2008).

Además, tienen el compromiso de desarrollar recursos humanos que puedan garantizar un futuro sostenible; sin embargo, algunas se enfocan en la cantidad de estudiantes matriculados y la distribución de la fuerza laboral, en lugar de considerar las implicaciones prácticas de la investigación académica, en relación con el compromiso social y las cuestiones de sostenibilidad (Garde-Sánchez et al., 2013). Las clasificaciones de las universidades pueden variar según la metodología utilizada por las instituciones que las elaboran. Muchas clasificaciones, como las de QS World University Rankings, Times Higher Education y Academic Ranking of World Universities (ARWU), consideran una amplia gama de criterios para evaluar la calidad de una universidad: reputación académica, calidad de la investigación, relación estudiante-profesor, internacionalización, contribución a la sociedad y al desarrollo sostenible. También en función de su impacto social y compromiso con la sostenibilidad, lo cual incluye la relevancia y las implicaciones prácticas de su investigación en estos campos (Safon, 2019). La RSU implica que las universidades

adopten un papel activo y comprometido con el bienestar de la sociedad en general, y con la formación de los profesionales como agentes de cambio en su comunidad; esto incluye aspectos como la calidad de la enseñanza, el fomento del pensamiento crítico y científico y a las habilidades adquiridas de los estudiantes para enfrentar los desafíos sociales y profesionales de manera ética y responsable (Vallaey, 2006). Puede ejercer su RS en la sociedad, la educación y en la generación de conocimiento (De la Calle y Giménez, 2011). La RSU posibilita la construcción del pensamiento y del conocimiento a partir de la problematización y reflexión de la realidad social, conectando a los estudiantes con el ámbito del campo teórico y con problemas sociales, haciéndolos participantes activos (Cuba et al., 2023).

Promover la RSU permite la creación de una cultura de mejora continua de la calidad, eficiencia, eficacia y transversalidad de todos los ámbitos de la universidad; no solo debe preocuparse por la gestión de sus contenidos curriculares, también por el perfil del egresado con enfoque en la RS. Ninguna IES puede legítimamente proclamarse como RS en su totalidad, ya que siempre tendrán áreas de mejora. Sin embargo, todas tienen la capacidad de reconocer y enfrentar sus vínculos e impactos sociales; sus acciones deben minimizar los negativos y maximizar los positivos (Solis-Jonapá, 2023).

Las IES en áreas de salud diseñan y desarrollan programas académicos que incorporan componentes en respuesta a emergencias sanitarias, anexando cursos específicos sobre RS (Tao et al., 2018). La RSU permite el desarrollo de habilidades como la empatía, el interés genuino y la comprensión profunda de las experiencias, preocupaciones y perspectivas de los pacientes, en relación con sus padecimientos. La empatía, entendida como la habilidad para conectarse emocionalmente con el sufrimiento ajeno en el contexto de la atención clínica, se considera altamente beneficiosa para los pacientes y para los profesionales de la salud al fomentar una relación terapéutica más significativa y satisfactoria (Ziółkowska-Rudowicz y Kładna, 2010). La formación en investigación científica en áreas de nutrición es fundamental para los desafíos complejos de la salud pública, como la pandemia por COVID-19. La integración de programas educativos en nutrición que priorizan la investigación científica, desempeña un papel fundamental en la responsabilidad social universitaria. No solo promueven la adquisición de conocimientos especializados, también equipan a los estudiantes con habilidades esenciales para los desafíos contemporáneos de la sociedad (Carducci et al., 2024).

2.2. La investigación formativa

La educación es un recurso estratégico para el desarrollo socioeconómico, cultural y espiritual de la sociedad. Contribuye al mejoramiento del bienestar de la población, garantiza los intereses nacionales, consolida la reputación internacional, modela una percepción positiva del país, aumenta su competitividad a nivel global y establece el marco propicio para la realización personal de los individuos (Harashchuk, 2020).

En las últimas décadas, la educación profesional se ha comprometido con la práctica científica, el razonamiento interrelacionado y las acciones utilizadas para desarrollar el conocimiento científico. Las habilidades tradicionales ya no garantizan el éxito profesional a largo plazo, los sistemas educativos se adaptan a las nuevas realidades del mercado laboral y proporcionan una formación continua alineada con las necesidades de la sociedad. Esto implica enseñar habilidades técnicas, transversales y competencias blandas, también conocidas como competencias del siglo XXI o socioemocionales; estas son personales, emocionales y sociales, las cuales complementan las habilidades técnicas y académicas (Sancho-Cantus et al., 2023).

Las características y exigencias del siglo XXI producen cuatro conceptos de aprendizaje: pensamiento crítico y resolución de problemas; creatividad e innovación; comunicación y colaboración. En las universidades donde las habilidades del siglo XXI fueron parte de la misión, se adoptó un enfoque centrado en el alumno y se enfatizó el aprendizaje basado en proyectos de investigación, lo que indica una perspectiva transversal, que se ha destacado como una metodología efectiva para fomentar el pensamiento crítico, la colaboración, la creatividad y el desarrollo de habilidades de investigación en los estudiantes (Voogt y Pareja, 2023).

La educación científica actual exige que los docentes involucren a los estudiantes en prácticas disciplinarias con fenómenos problematizados, para mejorar comprensión y creación de sentido (Turpo-Gebera et al., 2020). Es fundamental que posean habilidades cognitivas que les permitan adaptarse a nuevas tecnologías, métodos de enseñanza innovadores y cambios en el panorama educativo. Esto les permitirá diseñar y gestionar un aprendizaje basado en proyectos, y que dominen la parte cognitiva del siglo XXI, inspirando a los estudiantes a que desarrollen sus propios proyectos (Hacıoğlu, 2021).

La investigación formativa tiene como objetivos: mejorar y enriquecer la práctica pedagógica y el proceso de enseñanza-aprendizaje, comprender y abordar los desafíos y necesidades específicas del contexto educativo, así como promover un aprendizaje efectivo y significativo. Esta investigación se lleva a cabo en el entorno educativo, involucrando a docentes, estudiantes y otros actores relevantes, con el fin de identificar problemas, formular preguntas de investigación, recopilar y

analizar datos y diseñar intervenciones. Suele ser parte del currículo académico de las universidades y puede incluir cursos específicos sobre metodología, seminarios, prácticas en laboratorios o proyectos. Se basa en principios constructivistas y enfoques participativos, donde se valoran aspectos como: colaboración, reflexión y acción conjunta para la mejora continua (Imbert et al., 2024). Se ha demostrado que quien soluciona problemas, posee una base organizada y flexible de conocimientos que pueden aplicar en la práctica (Dochy et al., 2003).

En el ámbito universitario es esencial considerar dos aspectos: la formación en técnicas y habilidades de investigación; y la integrada en el proceso de formación académica. Esto no solo permite adquirir conocimientos, sino desarrollar competencias sólidas, cultivando una nueva generación de profesionistas que generan sentido original y contribuyen al avance de su campo. Los estudiantes dejan de ser receptores pasivos de información para convertirse en agentes activos en la producción y aplicación del conocimiento, satisfaciendo las demandas de un entorno exigente y cambiante (Asís et al., 2022).

La investigación formativa beneficia a los estudiantes con la adquisición de actitudes, habilidades y competencias que permitan la apropiación de conocimientos teóricos, prácticos y tecnológicos, necesarios para el ejercicio profesional. El desarrollo del aprendizaje profundo implica una comprensión más integradora al establecer nuevas relaciones entre conceptos y al fusionar lo que están aprendiendo con sus conocimientos previos. Esto no solo implica entender la información superficialmente, sino pensar críticamente sobre ella (Filius et al., 2018).

La investigación científica ha sido fundamental para comprender la naturaleza del virus y desarrollar estrategias efectivas de prevención, diagnóstico y tratamiento. La colaboración internacional entre científicos de diferentes disciplinas y países fue crucial para acelerar el desarrollo de vacunas y terapias. Además, los científicos desempeñaron un papel activo en la comunicación de información veraz sobre el SARS-CoV-2 y la COVID-19. También han educado al público sobre la enfermedad y la importancia de medidas preventivas como la vacunación. Asimismo, participaron en la mejora de pruebas diagnósticas y en la investigación de cómo la nutrición y los hábitos alimentarios pueden influir en la susceptibilidad y gravedad de la enfermedad. En resumen, los científicos han demostrado su compromiso con la RS al trabajar en conjunto para abordar la pandemia y ayudar a controlar su propagación (Diéguez-Campa et al., 2021).

2.3. Las TIC en época de COVID-19

Uno de los componentes fundamentales de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas es la educación de calidad. Su objetivo es garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad para todos. Las tecnologías digitales se han convertido en una herramienta esencial para lograr este objetivo (Haleem et al., 2022). Las innovaciones pedagógicas, incluidas las TIC, están desempeñando un papel central en la transformación de las universidades en la actualidad. Además, están impulsando cambios significativos en la forma de enseñanza-aprendizaje, así como la manera en que se gestionan las instituciones educativas en general. La accesibilidad, comodidad y facilidad de uso de los dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes y tabletas, han favorecido la transición de las actividades educativas al ámbito digital de manera más eficiente y efectiva. Esto ha resultado en una democratización del acceso a la educación, eliminando barreras geográficas y socioeconómicas. Ahora, estudiantes de cualquier parte del mundo pueden utilizar una amplia gama de recursos educativos y participar en clases en línea desde la comodidad de sus hogares (Thornhill-Miller et al., 2023). Las TIC están facilitando el acceso a materiales de estudio, investigaciones académicas y contenidos multimedia desde cualquier lugar y a cualquier hora, beneficiando tanto a estudiantes como a profesores. Esto enriquece el proceso de enseñanza y aprendizaje al proporcionar acceso a información actualizada y perspectivas variadas. Das (2019) plantea el potencial de las TIC para aumentar el acceso y mejorar la pertinencia y calidad de la educación en países en desarrollo.

La pandemia por COVID-19 apresuró la tendencia global existente hacia la adopción de nuevas tecnologías y plataformas digitales para facilitar el trabajo remoto y en línea (Amankwah et al., 2021). La pandemia aceleró la transición de la educación superior tradicional con presencia física a las clases *online*, iniciando una transformación fundamental en los enfoques. Muchas IES se vieron obligadas a trasladar sus clases presenciales a entornos virtuales, acelerando la adopción de tecnologías educativas, como plataformas de gestión del aprendizaje. El coronavirus dividió el mapa de la educación superior mundial entre los sistemas más experimentados y los no preparados en el aprendizaje a distancia basado en lo digital. Las universidades que no tenían una fuerte presencia en línea tuvieron que reorganizar y reestructurar sus enfoques de aprendizaje y enseñanza para mantener su viabilidad, trasladando varios cursos a un dominio en línea (Crawford et al., 2020). En muchas naciones afectadas por la pandemia, la situación en las IES cambió, y se vieron en la necesidad de introducir numerosas soluciones electrónicas para continuar el proceso de educación (Sultonova et al., 2021). Los profesores de metodología de la investigación tuvieron que adaptar rápidamente

sus métodos de enseñanza. Los estudiantes gestionaron su tiempo de estudio de manera más efectiva: participaron activamente en línea y buscaron recursos adicionales para complementar su aprendizaje (Mospan, 2023). La formación metodológica de los docentes para la educación a distancia requiere habilidades específicas como el dominio de herramientas tecnológicas, diseño y planificación de actividades de aprendizaje en línea, comunicación efectiva, adaptabilidad y flexibilidad (Mirete, 2010).

Las tecnologías digitales son importantes en el desarrollo de habilidades que son imperativas para el futuro desempeño profesional de los estudiantes. Entre estas, se incluyen la capacidad de resolver problemas de manera efectiva, la destreza para construir estructuras de pensamiento sólidas y la comprensión profunda de los procesos relevantes. Además, los prepara para afrontar un futuro caracterizado por la incertidumbre y la rápida evolución, en el cual la tecnología desempeñará un papel central. Las cualidades y competencias adquiridas a través de la integración de recursos educativos y herramientas digitales no solo serán esenciales para su éxito profesional, también contribuirán significativamente a su desarrollo personal y harán que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea más dinámico, atractivo y efectivo (Dudar et al., 2021).

3. Discusión

Durante la pandemia por COVID-19, las universidades adaptaron sus métodos de enseñanza. La RSU fue un marco fundamental para abordar los retos de manera efectiva, mediante un compromiso activo con la sociedad y el medioambiente. La formación profesional en nutrición, por ejemplo, se convirtió en un elemento vital para abordar los desafíos de salud pública planteados por la pandemia. La investigación formativa emergió como una herramienta en la formación de profesionales en nutrición. Este enfoque permitió a los estudiantes comprender mejor los problemas de salud pública y desarrollar soluciones sostenibles. La investigación formativa no solo se centra en la adquisición de conocimientos teóricos, también promueve el desarrollo de competencias investigativas sólidas, cultivando así una nueva generación de profesionales capaces de generar conocimiento original y contribuir al avance de su campo.

La pandemia también destacó el papel de las TIC en la educación superior. La rápida transición a la enseñanza en línea resalta la importancia de la integración de herramientas digitales en la formación académica de profesionales en nutrición. Las TIC no solo democratizan el acceso a la educación, también enriquecen el proceso de enseñanza-aprendizaje al proporcionar acceso a información actualizada y perspectivas diversas. Además, preparan a los estudiantes para enfrentar un futuro

caracterizado por la incertidumbre y la rápida evolución, donde las habilidades digitales serán cada vez más importantes.

La investigación formativa, en colaboración con la investigativa, no solo se centra en adquirir conocimientos, sino en el desarrollo de competencias sólidas. Al integrarla en la experiencia educativa, las universidades pueden cultivar una nueva generación de profesionales con habilidades en la resolución de problemas. Este enfoque fue especialmente vital durante la pandemia por COVID-19, un contexto en el que debieron fortalecer sus habilidades para integrar la teoría con la práctica y contribuir al bienestar colectivo.

4. Conclusiones

La integración de la RS, la investigación formativa y las TIC en la educación superior refleja una evolución hacia un enfoque más holístico y orientado al desarrollo integral de los estudiantes. En el ámbito universitario, la RSU amplía el papel tradicional de las instituciones educativas, promoviendo su compromiso con el desarrollo sostenible y el bienestar comunitario. La investigación formativa en educación ofrece una oportunidad para mejorar la práctica pedagógica y el proceso de enseñanza-aprendizaje, fomentando la colaboración y la reflexión entre docentes y estudiantes. Por último, las TIC juegan un papel crucial en la transformación de la educación superior, facilitando la transición a entornos virtuales y ofreciendo oportunidades para enriquecer el aprendizaje y democratizar el acceso a la educación. En conjunto, estos enfoques preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo actual y futuro, promoviendo un desarrollo personal y profesional significativo.

Referencias

- Abrahão, V. M., Vaquero-Diego, M. y Currás, R. (2024). University social responsibility: The role of teachers. *Journal of Innovation & Knowledge*, 9(1), 100464. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100464>
- Ali, M., Mustapha, I., Osman, S. y Hassan, U. (2021). University social responsibility: A review of conceptual evolution and its thematic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124931. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124931>
- Amankwah, J., Khan, Z., Wood, G. y Knight, G. (2021). COVID-19 and digitalization: The great acceleration. *Journal of Business Research*, 136, 602-611
- Asís, L. M. E. (2022). Investigación formativa para la enseñanza y el aprendizaje en las universidades. Mendive. *Revista de Educación*, 20(2), 675-691.
- Carducci, B., Dominguez, G., Kidd, E., Janes, K., Owais, A. y Bhutta, Z. A. (2024). Pivoting school health and nutrition programmes during COVID-19 in low- and middle-income countries: A scoping review. *Journal of Global Health*, 14, 1-13. <https://doi.org/10.7189/jogh.14.05006>
- Crawford, J., Butler-Henderson, K., Rudolph, J., Malkawi, B., Glowatz, M., Burton, R. et al. (2020). COVID-19: 20 countries' higher education intra-period digital pedagogy responses. *Journal of Applied Learning & Teaching*, 3(1), 1-20 <https://doi.org/10.37074/jalt.2020.3.1.7>
- Cuba, S. J. M., Contreras-Gómez, R. M., Colca, G. H. L. y Merino, L. A. L. (2023). University social responsibility in Latin America: systematic review. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 23(2), 138-145. DOI: 10.25176/RFMH.v23i2.5653
- Das, K. (2019). The Role and Impact of ICT in Improving the Quality of Education: An Overview. *IJSSH*, 4(6), 97-103.
- De la Calle, M. C. y Giménez, A. P. (2011). Aproximación al concepto de Responsabilidad Social del Universitario. *Comunicación y Hombre*, (7), 237-247. <https://www.redalyc.org/pdf/1294/129420882016.pdf>
- Díaz de Iparraguirre, A. M. (2008). *La responsabilidad social de la Universidad en la promoción del capital social para el desarrollo sustentable* [Tesis de maestría, Universidad de Carabobo]. Eumed. <http://www.eumed.net/libros/2008b/402/index.htm>
- Diéguez-Campa, C. E., Pérez-Neri, I., Reyes-Terán, G., Flores-Apodaca, I. A., Castillo-Ledón-Pretelini, J., Mercado-Bautista, O. et al. (2021). The 2020 research pandemic: A bibliometric analysis of publications on COVID-19 and their scientific impact during the first months. *Archivos de Cardiología de México*, 91(Suplemento COVID), 001-011. <https://doi.org/10.24875/ACM.20000370>
- Dochy, F., Segers, M., Van den, B. P. y Gijbels, D. (2003). Effects of problem-based learning: a meta-analysis. *Learning and Instruction*, 13(5), 533-568. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00025-7)

- Dudar, V. L., Riznyk, V. V., Kotsur, V. V., Pechenizka, S. S. y Kovtun, O. A. (2021). Use of modern technologies and digital tools in the context of distance and mixed learning. *Linguistical and Culture Review*, 5(52), 733-750. <https://doi.org/10.21744/lingcure.v5nS2.1416>
- Esfijani, A. y Chang, E. (2012). Metrics Development for Measuring Virtual University Social Responsibility. En *Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 724-725). ICALT. 10.1109/ICALT.2012.154.
- Filius, R. M., Kleijn, R. A., Uijl, S. G., Prins, F. J., Van Rijen, H. V. y Grobbee, D. E. (2018). Strengthening dialogic peer feedback aiming for deep learning in SPOCs. *Computers & Education*, 125(C), 86-100. doi: 10.1016/j.compedu.2018.06.004.
- García-Rivas, M. I., Gálvez-Sánchez, F. J., Noguera-Vivo, J. M. y Meseguer-Sánchez, V. (2023). Corporate social responsibility reports: A review of the evolution, approaches and prospects. *Heliyo*, 9(7), e18348. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18348>
- Garde-Sánchez, R., Rodríguez-Bolívar, M. P. y López-Hernández, A. M. (2013). Divulgación online de información de responsabilidad social en las universidades españolas. *Revista de Educación*, 9(Extraordinario), 177-209. https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/29591/GardeSanchez_ResponsabilidadSocialUniversidad.pdf?sequence=1
- Hacıoğlu, Y. (2021). The Effect of STEM Education on 21st Century Skills: Preservice Science Teachers' Evaluations. *Journal of STEAM Education*, 4(2), 140-167.
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A. y Sumanc, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3(2022), 275-285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- Harashchuk, O. (2020). *Esfera educativa después de la cuarentena. Modo de acceso*. Pedrada. <https://www.pedrada.com.ua/article/2785-osvtnya-sfera-pslya-karantinu>.
- Ibarra, U. L. M., Fonseca, B. C. D. y Santiago, G. R. (2020). La responsabilidad social universitaria. Misión e impactos sociales. *Sinética*, (54), e1008. DOI: 10.31391/S2007-7033(2020)0054-011
- Imbert, R. D., Rebollo, C., Cabrera, B. C., Elósegui, E., Torres, J. y Otero, L. (2024). Formative research in teacher training: A case study carried out in Uruguay. *International Journal of Educational Research*, 125, 102345. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102345>
- Jiang, L. (2021). Definiciones de responsabilidad social empresarial. En D. Crowther y S. Seifi. (Eds.), *El manual Palgrave de responsabilidad social corporativa* (pp. 27-46). Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42465-7_1
- Latapí, M. A., Jóhannsdóttir, L. y Davídsdóttir, B. (2019). Una revisión de la literatura sobre la historia y evolución de la responsabilidad social corporativa. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 4(1), 1-23. <https://doi.org/10.1186/s40991-018-0039-y>

- Licandro, O., Vázquez-Burguete, J. L., Ortigueira, L. y Correa, P. (2023). Definición de Responsabilidad Social Empresarial como Filosofía de Gestión Orientada a la Gestión de Externalidades: Propuesta y Argumentación. *Sostenibilidad*, 15(13), 10722. <https://doi.org/10.3390/su151310722>
- Mitropoulou, A. (2011). Was the European student movement of the 1960s a global phenomenon? *E-International relations*, (julio), 1-5. <https://www.e-ir.info/2011/07/02/was-the-european-student-movement-of-the-1960s-a-global-phenomenon/>
- Mirete, R. A. B. (2010). Formación docente en TICS. ¿están los docentes preparados para la revolución TIC? *INFAD. Revista de Psicología*, 4, 35-44.
- Mospan, N. (2023). Trends in emergency higher education digital transformation during the COVID-19 pandemic. *Journal of University Teaching & Learning Practice*, 20(1), 50-70. <https://doi.org/10.53761/1.20.01.04>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.uv.mx/APPS/CUO/TALLERSU/Docs.%20RSU%20para%20INEGI/Breve%20marco%20te%20C3%B3rico%20de%20Responsabilidad%20Social%20Universitaria.pdf> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Safon, V. (2019). Inter-ranking reputational effects: an analysis of the Academic Ranking of World Universities (ARWU) and the Times Higher Education World University Rankings (THE) reputational relationship. *Scientometrics*, 121(2), 897-915. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03214-9>
- Sancho-Cantus, D., Cubero-Plazas, L., Botella Navas, M., Castellano-Rioja, E. y Cañabate Ros, M. (2023). Importance of Soft Skills in Health Sciences Students and Their Repercussion after the COVID-19 Epidemic: Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4901. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064901>
- Solis-Jonapá, M. S. (2022). Bioética y ecología integral: El papel de las universidades en el cuidado de la casa común. *Medicina y Ética*, 33(3), 667-683. <https://doi.org/10.36105/mye.2022v33n3.02>
- Sultonova, L., Milto, L. y Zheludenko, M. (2021). El impacto de la pandemia de Covid-19 en el desarrollo de la educación superior. *Acta Paedagogica Vilnensia*, 46, 132-147, <https://doi.org/10.15388/ActPaed.46.2021.9>
- Tao, D., Evashwick, C. J., Grivna, M. y Harrison, R. (2018). Educating the Public Health Workforce: A Scoping Review. *Frontiers in Public Health*, 6(27), 1-8. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00027>
- Thornhill-Miller, B., Camarda, A., Mercier, M., Burkhardt, J. M., Morisseau, T., Bourgeois-Bougrine, S. et al. (2023). Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration: Assessment, Certification, and Promotion of 21st Century Skills for

- the Future of Work and Education. *Journal of Intelligence*, 11(3), 1-32. <https://doi.org/10.3390/jintelligence11030054>
- Turpo-Gebera, O., Mango, Q. P., Cuadros, P. L. y González-Millán, M. (2020). Formative research at the university: meanings conferred by faculty at an Education Department. *Educacao E. Pesquisa*, 46(2020), e215876.
- Vallaey, F. (2006). *Breve marco teórico de responsabilidad social universitaria*. Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/APPS/CUO/TALLERSU/Docs.%20RSU%20para%20INEGI/Breve%20marco%20te%C3%B3rico%20de%20Responsabilidad%20Social%20Universitaria.pdf>
- Voogt, B. M. y Pareja, N. N. (2023). Curriculum and 21st century skills. *International Encyclopedia of Education*, 4(2023), 49-55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.03007-4>
- Ziółkowska-Rudowicz, E. y Kładna, A. (2010). Kształcenie empatycznych lekarzy. Część I--Przegląd stosowanych metod [Empathy-building of physicians. Part I--A review of applied methods]. *Polski Merkurusz Lekarski: Organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*, 29(172), 277-281.

CAPÍTULO 2.

Importancia de la alimentación en la pandemia por COVID-19

Yessica Torres Caballero¹

Gonzalo Velázquez de la Cruz²

Rocío Margarita Uresti Marín¹

Resumen

La pandemia de COVID-19 ha desencadenado desafíos sin precedentes en todo el mundo, afectando varios aspectos: salud pública, economía, bienestar social y hábitos cotidianos de las personas. En este contexto de crisis global, la alimentación ha destacado como un factor crucial para mantener una buena salud y resiliencia ante la enfermedad. La relación entre una dieta adecuada y la capacidad del cuerpo para combatir las enfermedades ha sido objeto de un renovado interés. La alimentación no solo proporciona los nutrientes esenciales que el cuerpo necesita para funcionar correctamente, también fortalece el sistema inmunológico y la prevención de enfermedades. Durante la pandemia de COVID-19, la adopción de hábitos alimentarios saludables se ha convertido en una estrategia fundamental para proteger la salud y el bienestar de las personas, así como para reducir el riesgo de complicaciones relacionadas con la enfermedad. Por lo tanto, educar y concienciar a la población sobre la importancia de mantener una alimentación equilibrada y nutritiva se ha convertido en una prioridad en la lucha contra la COVID-19. En este capítulo se explorará su importancia en el contexto pandémico, analizando cómo una dieta adecuada puede fortalecer el sistema inmunológico, proteger contra enfermedades y promover el bienestar general. Además, se aportan conocimientos sobre la función de los nutrientes, para promover de la educación nutricional.

Palabras clave: dieta, nutrientes, sistema inmune, COVID-19, SARS-CoV-2.

¹UATSCDH Universidad Autónoma de Tamaulipas.

²CICATA Instituto Politécnico Nacional. gvelazquezd@ipn.mx

1. Introducción

La pandemia de COVID-19 marcó un punto de inflexión en la historia moderna como una crisis de salud pública sin precedentes, que ha impactado en todos los aspectos de la vida humana a nivel global. Más allá de ser una enfermedad respiratoria aguda, ha demostrado ser una amenaza seria para la salud, con tasas de morbilidad y mortalidad altas. El síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2) se ha asociado con más de seis millones de muertes en todo el mundo (Cascella et al., 2023). La susceptibilidad al virus varía entre diferentes grupos de población, siendo crítica en individuos con condiciones de salud subyacentes, como obesidad, hipertensión, diabetes tipo 2, enfermedades cardíacas, pulmonares crónicas y cáncer. Estas condiciones, comúnmente denominadas como enfermedades crónicas no transmisibles (ENT), debilitan el sistema inmunológico y comprometen la capacidad del cuerpo para combatir infecciones, lo que aumenta el riesgo de complicaciones graves en caso de contraer el virus (Kompaniyets et al., 2021).

El sistema inmune desempeña un papel fundamental en la defensa del organismo contra la infección por el SARS-CoV-2, el virus que causa la enfermedad COVID-19 (Sapir et al., 2022). El sistema inmune es capaz de controlar adecuadamente la infección en un 81 % de los pacientes, cursando de una forma asintomática o con sintomatología moderada. Sin embargo, un 19 % de los pacientes sufren una enfermedad grave, que llega a convertirse en crítica y mortal (Sanz et al., 2021). El sistema inmunológico de las personas con problemas de salud preexistentes puede estar comprometido debido a la inflamación crónica, el estrés oxidativo y la disfunción del sistema inmunológico. Los pacientes inmunocomprometidos infectados con SARS-CoV-2 tienen una duración prolongada de la infección hasta de 70 días. Además, estas condiciones se asocian con otras comorbilidades, como enfermedades respiratorias o cardiovasculares, que también aumentan el riesgo de complicaciones en caso de infección (Utzon et al., 2023).

La obesidad, en particular, se ha identificado como un factor de riesgo significativo. Estudios recientes demostraron que las personas con obesidad tuvieron un mayor riesgo de desarrollar formas graves de la enfermedad en comparación con aquellos con un peso corporal normal (Petrova et al., 2020). Esto no solo afecta la función pulmonar, lo que dificulta la recuperación de infecciones respiratorias, también desencadena un estado crónico de inflamación sistémica que debilita la respuesta inmunológica del cuerpo y aumenta el riesgo de complicaciones y decesos en caso de infección (Bailly et al., 2022). La obesidad es una condición multifactorial que puede estar influida por diversos factores, incluidos los alimentarios, ya que el aumento de peso se produce cuando se consumen más calorías de las que se gastan, por lo regular en porciones excesivas de alimentos ricos en grasas saturadas

y azúcares añadidos, así como alimentos altamente procesados (Rakhra et al., 2020). La infección por SARS-CoV-2 se relaciona con un riesgo alto de malnutrición, principalmente por el aumento de los requerimientos nutricionales y la presencia de un estado inflamatorio severo y generalizado (Carretero et al., 2020). La malnutrición puede debilitar el sistema inmunológico, lo que reduce la capacidad del cuerpo para combatir las infecciones. La falta de nutrientes esenciales, como proteínas, vitaminas y minerales, puede afectar la producción de células inmunitarias y la función de los anticuerpos, aumentando el riesgo de infecciones virales (Gombart et al., 2020).

Una nutrición deficiente puede aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, como obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares, que a su vez acrecientan el riesgo de complicaciones graves de la COVID-19 (Dreher y Kersten, 2020). Esto destaca la necesidad de mejorar las prácticas dietéticas, con contribuciones de todos los segmentos de la sociedad. Desde la infancia hasta la adolescencia, se establecen hábitos alimentarios y de actividad física que influyen significativamente en la salud a lo largo de la vida. Durante estas etapas de desarrollo, se puede comenzar el proceso de obesidad si adoptan dietas poco saludables y estilos de vida sedentarios (Kansra et al., 2021). Este riesgo es especialmente relevante, pues pueden persistir en la edad adulta, lo que aumenta la probabilidad de mantener un peso excesivo y desarrollar problemas de salud relacionados con la obesidad en el futuro. Por lo tanto, es fundamental promover una alimentación equilibrada y practicar actividad física desde edades tempranas con la intención de prevenir la obesidad y fomentar estilos de vida saludables (Mahmood et al., 2021). Consumir demasiadas calorías conlleva un aumento de peso no deseado, mientras que consumir muy pocas tiene como consecuencia la malnutrición y otros problemas (Hill et al., 2012).

En este contexto de la pandemia, se ha evidenciado cómo los malos hábitos alimentarios pueden contribuir a una mala condición de salud y aumentar el riesgo de complicaciones graves y fallecimientos. Muchas personas perdieron la vida debido a enfermedades preexistentes relacionadas con la alimentación poco saludable. Esto subraya la necesidad de adoptar hábitos alimentarios saludables. Es fundamental aprovechar esta oportunidad para promover una alimentación más nutritiva y equilibrada (Diab et al., 2023).

1.1. El proceso de infección por el SARS-CoV-2 hasta un caso grave

a) *Exposición al virus*: el primer paso es la exposición, que ocurre a través de la inhalación de partículas respiratorias infectadas, como las gotas respiratorias expulsadas por una persona infectada al toser, estornudar o hablar (Liu et al., 2020).

b) *Entrada y replicación viral*: una vez que el virus ingresa al cuerpo a través del tracto respiratorio, se adhiere a las células epiteliales que recubren las vías

respiratorias, especialmente en los pulmones. El virus utiliza su proteína de espiga (S) para unirse al receptor ACE2 en las células humanas, lo que le permite ingresar a las células y comenzar a replicarse (Sanz et al., 2021).

c) *Respuesta inflamatoria temprana*: la replicación viral activa una respuesta inflamatoria temprana del sistema inmunológico para tratar de controlar la infección. Esto puede causar síntomas de leves a moderados como fiebre, tos, fatiga y dolor de garganta (Lowery et al., 2021).

d) *Diseminación viral*: si el sistema inmunológico no logra controlar la replicación viral del SARS-CoV-2 en las células respiratorias, el virus puede diseminarse hacia otras áreas del cuerpo, como los pulmones. Puede alterar las funciones de casi todos los órganos, pero principalmente el corazón, los vasos sanguíneos, el cerebro y las neuronas, así como los riñones, el hígado y los órganos reproductivos (Kopańska et al., 2022).

e) *Daño pulmonar y dificultades respiratorias*: el virus SARS-CoV-2 puede causar daño directo a los pulmones y las vías respiratorias, lo que puede conducir a neumonía grave o síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA), una complicación respiratoria potencialmente mortal en donde los pulmones se inflaman, causando dificultades respiratorias extremas y disminución de la capacidad de oxigenación en la sangre. Estas complicaciones pueden provocar la necesidad de asistencia respiratoria mecánica (Krynytska et al., 2021).

f) *Complicaciones sistémicas*: además de los pulmones, el virus puede afectar directamente a otros órganos, como los riñones (provocando insuficiencia renal), el hígado (causando hepatitis) y el sistema nervioso central (dando lugar a síntomas neurológicos y encefalitis). Esto puede dar lugar a complicaciones graves, como insuficiencia multiorgánica (Mokhtari et al., 2020).

g) *Respuesta inflamatoria descontrolada*: en algunos casos, el sistema inmunológico puede mostrar una respuesta inflamatoria descontrolada y excesiva, conocida como tormenta de citocinas. Esto implica la liberación masiva de citocinas inflamatorias que pueden causar daño en los tejidos y órganos del cuerpo, incluyendo los pulmones (Carretero et al., 2020).

1.2. Factores asociados a la respuesta de síntomas con el SARS-CoV-2

a) *Respuesta inmunológica*: Varía entre las personas. Algunas pueden tener una respuesta inmunológica más rápida y efectiva que otras, lo que les permite controlar la replicación viral y evitar el desarrollo de síntomas (Shah et al., 2020).

b) *Carga viral*: la cantidad de virus a la que una persona está expuesta puede influir en la gravedad de la enfermedad. Si la exposición al virus es baja y la carga

viral inicial es mínima, es posible que no se desarrollen síntomas o que sean leves (Schrock et al., 2021).

c) *Edad*: los estudios han demostrado que los niños y los jóvenes tienden a ser más propensos a ser asintomáticos o presentar síntomas leves en comparación con los adultos mayores. La edad puede estar relacionada con una respuesta inmunológica más robusta y una menor susceptibilidad a la enfermedad grave (Felsenstein y Hedrich, 2020).

d) *Salud general*: las personas con un estado de salud óptimo pueden tener una mayor probabilidad de ser asintomáticas. Un sistema inmunológico fuerte y una buena salud en general pueden ayudar a controlar la infección y prevenir la aparición de síntomas graves (El-Ghitany et al., 2022).

e) *Inmunidad previa*: en algunos casos, las personas pueden tener cierto grado de inmunidad debido a la exposición previa a otros coronavirus o al SARS-CoV-2. Esto puede brindar cierta protección contra la infección y reducir la gravedad (Wang et al., 2022).

1.3. Factores de riesgo de SDRA en pacientes con SARS-CoV-2

1) *Edad avanzada*: las personas mayores de 65 años tienen un mayor riesgo de desarrollar SDRA en caso de infección por COVID-19. A medida que envejecemos, el sistema inmunológico puede debilitarse, lo que aumenta la vulnerabilidad a tener más comorbilidades. Así también, la capacidad pulmonar puede disminuir, provocando complicaciones respiratorias graves (Weyand y Goronzy, 2016).

2) *Enfermedades crónicas*: varias enfermedades crónicas se han asociado con un mayor riesgo de SDRA en personas infectadas con el SARS-CoV-2. Estas incluyen: enfermedades cardiovasculares, pulmonares, metabólicas, renales, hepáticas y autoinmunes. Diversos estudios científicos han demostrado que una mala alimentación, caracterizada por el consumo excesivo de alimentos procesados, altos en grasas saturadas, azúcares añadidos y sodio, puede aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas (Schwingshackl et al., 2014).

3) *Estrés oxidativo*: el estrés oxidativo puede afectar negativamente la respuesta inmunológica frente al virus, disminuir la función de los linfocitos, células clave en la defensa del sistema inmunológico y comprometer su capacidad para combatir eficazmente la infección viral (Wieczfinska et al., 2022).

4) *Compromiso del sistema inmunológico*: las personas con sistemas inmunológicos debilitados debido a enfermedades autoinmunes, tratamientos inmunosupresores o afecciones como el VIH/SIDA, tienen un mayor riesgo de desarrollar complicaciones graves, incluido el SDRA, en caso de infección por COVID-19 (Li et al., 2021).

1.4. La respuesta inmunológica ante la infección del SARS-CoV-2

El proceso de respuesta inmunológica puede dividirse en varias etapas:

1) *Detección del virus*: cuando el virus entra al cuerpo, el sistema inmune identifica las moléculas virales, como las proteínas del SARS-CoV-2, a través de receptores presentes en las células inmunitarias. Esto activa una respuesta inmediata para combatir la infección (Dos Santos et al., 2022).

2) *Respuesta innata*: es la primera línea de defensa del sistema inmunológico, que actúa de manera rápida y generalizada. Las células fagocíticas, como los macrófagos, reconocen y eliminan partículas virales. Además, se liberan citocinas proinflamatorias para reclutar otras células inmunitarias y activar una respuesta específica. Los mastocitos, NK (asesinos naturales), NKT (células T asesinas naturales), NHC (células auxiliares naturales), células linfoides naturales, granulocitos, macrófagos y monocitos son responsables de la inmunidad innata (Diamond y Kanneganti, 2022).

3) *Respuesta adaptativa*: es una respuesta más específica y tardía que se desarrolla después de la respuesta innata. Los linfocitos T y B desempeñan un papel crucial en esta fase. Los linfocitos T citotóxicos reconocen y destruyen las células infectadas por el virus, mientras que los linfocitos B producen anticuerpos específicos que se unen al virus y lo neutralizan (Silva et al., 2022).

4) *Producción de anticuerpos*: los anticuerpos son proteínas producidas por los linfocitos B que se unen al virus y ayudan a neutralizarlo. Estos anticuerpos pueden prevenir la entrada del virus en las células y marcarlo para su eliminación por parte de otras inmunitarias (Suthar et al., 2020).

5) *Memoria inmunológica*: después de la infección por el SARS-CoV-2, el sistema inmune desarrolla una memoria inmunológica. Los linfocitos T y B “recuerdan” el virus y pueden responder de manera más rápida y eficiente en caso de una exposición posterior. Esta memoria inmunológica es la base de la inmunidad adquirida, que puede proteger contra futuras infecciones (Sette y Crotty, 2022).

1.5. Relación entre la dieta, el sistema inmune y el SARS-CoV-2

1.5.1. La cultura alimentaria

La cultura alimentaria es un conjunto de prácticas, creencias, valores y tradiciones relacionadas con una sociedad particular, que incluyen el tipo de alimentos que se consumen, la selección, preparación, maneras en que se sirven y formas de compartirlos. La cultura alimentaria expresa identidad y significado. Se vincula con patrones dietéticos y, por lo tanto, impacta la salud y el bienestar de esa población (Míngay et al., 2021). Se encuentra intrínsecamente vinculada con la producción alimentaria de un pueblo, abarcando el proceso de cultivo, cría, recolección,

transformación y distribución de alimentos para satisfacer las necesidades alimentarias de la sociedad. Esto implica una serie de actividades que van desde: agricultura, ganadería, pesca y acuicultura, hasta la elaboración, envasado, distribución y comercialización de productos alimenticios (Lizcano et al., 2024).

La historia de México está intrínsecamente ligada a la gastronomía, que es una manifestación de su rica diversidad cultural y su legado indígena, europeo y africano. Desde tiempos precolombinos, las civilizaciones mesoamericanas, como los aztecas, los mayas y los toltecas, tenían una dieta basada en una variedad de alimentos, incluyendo maíz, frijoles, chiles, verduras, frutas, aves (guajolote, codornices, patos) y alimentos del mar (peces, crustáceos y moluscos). Con la llegada de los españoles en el siglo XVI, se produjo un intercambio culinario sin precedentes conocido como el “Encuentro de dos mundos”, los españoles introdujeron el trigo, arroz, ganado vacuno, cerdo y pollo; así como técnicas de cocina europeas, como la fritura, que se convirtió en una técnica común para crear platos fritos como los antojitos mexicanos. Esto permitió la preparación de alimentos como carnitas, chicharrones, tacos dorados, flautas, churros y otros platillos regionales. Desde esa época, la manteca de puerco continuó siendo un ingrediente fundamental en la cocina mexicana en la preparación de diversos platillos y alimentos, como tamales, tortillas, gorditas, frijoles refritos y guisos; valorada por su sabor único y su capacidad para realzar el sabor de los platillos tradicionales (Long, 2003).

La manteca de puerco, aunque añade un sabor distintivo a muchos platos mexicanos, es alta en grasas saturadas y colesterol, lo que puede aumentar el riesgo de obesidad y enfermedades cardiovasculares cuando se consume en exceso (Muniz et al., 2019). La tradición de consumir alimentos fritos en México continúa siendo popular, pero cada vez se promueven alternativas más saludables, como la cocción al vapor, al horno o a la parrilla, o el uso de tecnologías como la freidora de aire (Pankaj y Keener, 2017).

La influencia de la industria alimentaria en la cultura mexicana ha tenido un gran impacto en los hábitos de consumo. A través del sistema alimentario global, los entornos locales, el *marketing* y la orientación dietética, la industria ejerce una fuerte influencia en las elecciones de alimentos. Sus acciones no solo moldean las preferencias alimentarias, también afectan las políticas nacionales y transnacionales de alimentación y nutrición. La estrategia publicitaria de la industria, especialmente dirigida a niños y adolescentes, puede promover el consumo excesivo de productos poco saludables. Los alimentos procesados suelen ser más accesibles y económicos, lo que puede aumentar su consumo, especialmente en comunidades con menos recursos o áreas con escasez de opciones saludables (Marrón-Ponce et al., 2018).

Los alimentos con alto contenido de azúcar, grasa o sal tienden a ser más sabrosos y adictivos, activando los centros de recompensa en el cerebro y provocando un consumo excesivo. Esto puede llevar a hábitos poco saludables y aumento de peso. Su ingesta excesiva se ha vinculado a enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. Además, estos alimentos suelen ser ricos en calorías, pero pobres en nutrientes esenciales, lo que puede provocar deficiencias nutricionales y problemas de salud a largo plazo. En muchas sociedades, la cultura alimentaria ha evolucionado hacia un consumo excesivo de alimentos procesados o poco saludables (de Macedo et al., 2016).

El comportamiento alimentario es un aspecto importante de la vida, ya que puede afectar los resultados de salud a largo plazo porque se entiende que los hábitos alimentarios poco saludables, como consumir alimentos deficientes en nutrientes, saltarse comidas y la falta de una dieta oportuna, causan diversos problemas de salud y deficiencias nutricionales (Kabir et al., 2018). La relación entre la cultura alimentaria y la salud ha sido objeto de atención durante décadas, y es evidente que los hábitos arraigados en una sociedad pueden tener un impacto significativo en la salud y el bienestar. En muchas culturas, el consumo excesivo de alimentos ricos en carnes rojas, grasas saturadas, comida azucarada y bebidas alcohólicas se ha convertido en una norma aceptada, con consecuencias graves para la salud pública (Nordström et al., 2013).

1.5.2. La dieta mediterránea

La dieta mediterránea representa los hábitos alimentarios tradicionales de las poblaciones que viven alrededor del mar Mediterráneo y se asocia con un menor riesgo de mortalidad, incidencia de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Ferro et al., 2021). Además, es más que una lista de alimentos permitidos; es un estilo de vida arraigado en la cultura y en prácticas alimentarias transmitidas de generación en generación. Está compuesta principalmente por alimentos ricos en antioxidantes, vitaminas y minerales, como frutas, verduras, frutos secos y aceite de oliva, los cuales son fuentes importantes de polifenoles bioactivos. Los polifenoles, particularmente los flavonoides y sus metabolitos, demuestran efectos pleiotrópicos que promueven la salud, especialmente en trastornos cardiovasculares y metabólicos, debido a sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antitrombóticas (Angelidi et al., 2021). La dieta mediterránea se centra en alimentos frescos y nutritivos, mientras limita el consumo de alimentos procesados y ricos en grasas saturadas. Esto puede ayudar a mantener un peso corporal saludable, lo que a su vez reduce el riesgo de complicaciones graves de COVID-19 en personas con sobrepeso u obesidad (Davis et al., 2015).

Esta dieta se ha asociado con un menor riesgo de enfermedades crónicas, como cardiopatías, diabetes tipo 2 y ciertos tipos de cáncer. Al mejorar la salud cardiovascular y reducir la inflamación en el cuerpo, la dieta mediterránea puede ayudar a reducir la gravedad de las complicaciones de salud relacionadas con la COVID-19 (Fan et al., 2023), ya que algunos de sus componentes, como los ácidos grasos omega-3 presentes en el pescado, pueden ayudar a mejorar la función pulmonar y la salud respiratoria. En particular, la enfermedad afecta principalmente al sistema respiratorio (Catalin et al., 2023). Adoptar la dieta mediterránea emerge como una opción viable para hacer cambios de hábitos alimentarios saludables, y es un ejemplo destacado de cómo la tradición y la alimentación se entrelazan para promover la salud y el bienestar. Originaria de las regiones que bordean el mar Mediterráneo, no solo se basa en la disponibilidad de alimentos locales, sino también en una forma de vida que valora la frescura, la variedad y el equilibrio en la alimentación (Sotos-Prieto et al., 2022).

1.5.3. La dieta saludable

Una dieta saludable proporciona los nutrientes necesarios, en las cantidades adecuadas, para mantener un estado óptimo de salud y bienestar. Una alimentación equilibrada y variada también es fundamental. A continuación, se describen elementos clave:

a) *Variedad de alimentos*: esto asegura que se obtengan los nutrientes esenciales necesarios para el funcionamiento óptimo del cuerpo. Esto incluye frutas, verduras, granos integrales, proteínas magras, lácteos bajos en grasa o alternativas no lácteas, y grasas saludables (Cena y Calder, 2020).

b) *Vitaminas y minerales*: las frutas y verduras son fuentes ricas en estos nutrientes, así como de fibra y antioxidantes. Se recomienda consumir al menos 5 porciones de frutas y verduras al día para asegurar una ingesta adecuada de micronutrientes y compuestos bioactivos (Boeing et al., 2012).

c) *Carbohidratos*: los granos integrales, como el arroz, la avena y el pan, son ricos en fibra y nutrientes. Reemplazar los granos refinados por granos integrales ayuda a mantener niveles estables de azúcar en la sangre y proporciona energía durante el día (Khan et al., 2022).

d) *Proteínas*: las fuentes de proteínas incluyen aves de corral sin piel, pescado, huevos, legumbres, nueces, semillas y productos lácteos bajos en grasa. Las células inmunitarias tienen requisitos específicos de aminoácidos como la glutamina, arginina, lisina y triptófano que son fundamentales para el buen funcionamiento del sistema inmunológico (Kelly y Pearce, 2020).

e) *Lípidos*: algunas grasas saludables, como los AGM presentes en el aceite de oliva y los aguacates, así como los AG omega-3, pueden mejorar la función de las células inmunitarias, ya que pueden aumentar la producción y la actividad de células del sistema inmunológico, como los linfocitos T y las células asesinas naturales, fortaleciendo la respuesta inmunológica ante infecciones y enfermedades (Candiloro et al., 2021).

1.6. Impacto de la dieta en la infección por SARS-CoV-2

Las principales relaciones entre la dieta y el SARS-CoV-2 son:

a) *Sistema inmunológico*: una alimentación saludable y equilibrada es fundamental. Una dieta rica en frutas, verduras, granos integrales, proteínas magras y grasas saludables proporciona los nutrientes necesarios para un sistema inmunológico fuerte y resiliente. Esto incluye vitaminas (C, D, E y A), minerales (Zn y Se) y antioxidantes, que ayudan a fortalecer las defensas del cuerpo contra las infecciones virales, incluido el SARS-CoV-2 (Shakoor et al., 2020).

b) *Inflamación y respuesta inflamatoria*: una dieta rica en grasas saturadas, grasas trans, azúcares refinados y alimentos procesados puede promover la inflamación crónica del cuerpo, lo que compromete la respuesta inmunitaria y el aumento de enfermedades (Tristan et al., 2023).

c) *Salud metabólica*: la dieta está estrechamente relacionada con la salud metabólica, incluyendo el control del peso, la resistencia a la insulina y la salud cardiovascular. La obesidad y las enfermedades metabólicas, como la diabetes tipo 2 y las cardiopatías, se han identificado como factores de riesgo para complicaciones graves en caso de infección por el SARS-CoV-2 (Makhoul et al., 2020).

1.6.1. Deficiencias nutricionales y afectaciones del sistema inmune

Para que el sistema inmune funcione correctamente necesita una variedad de nutrientes esenciales que se obtienen a través de la alimentación. La falta de estos puede debilitarlo y comprometer su capacidad para combatir infecciones. Algunos factores que lo afectan son:

1) *Deficiencias de vitaminas y minerales*: las deficiencias de vitaminas y minerales pueden afectar negativamente la función del sistema, debilitando la respuesta inmune y aumentando el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades autoinmunes y otros trastornos relacionados con la inmunidad (Shakoor et al., 2021).

2) *Desequilibrio en la ingesta de macronutrientes*: una dieta desequilibrada, con exceso de grasas saturadas, carente de proteínas y carbohidratos complejos, puede afectar la respuesta inmunológica y debilitar las defensas del organismo. La falta de proteínas influye en la producción de anticuerpos y la función de las células inmunológicas,

mientras que la falta de calorías puede disminuir la capacidad del sistema inmune para responder de manera eficiente a las infecciones (Calcuttawala, 2022).

3) *Baja ingesta de antioxidantes y fitonutrientes*: los antioxidantes presentes en frutas, verduras y otros alimentos ricos en fitonutrientes, como los flavonoides y los carotenoides, desempeñan un papel importante en la protección y fortalecimiento del sistema inmunológico al combatir el daño oxidativo y modular la respuesta inmunitaria. Una dieta equilibrada y rica en estos compuestos bioactivos puede ayudar a promover la salud inmunológica y reducir el riesgo de enfermedades (Pérez-Cano et al., 2013).

4) *Exceso de ingesta de grasas saturadas*: una alimentación rica en grasas saturadas, azúcares refinados y alimentos procesados puede promover la inflamación crónica en el cuerpo. La inflamación crónica puede afectar la respuesta inmunológica y aumentar la susceptibilidad a enfermedades autoinmunes, infecciones y enfermedades crónicas (Tremblay et al., 2004).

5) *Falta de fibra dietética*: la ausencia de fibra en la dieta afecta negativamente la salud del intestino y altera su microbiota, lo cual está estrechamente relacionado con el funcionamiento del sistema inmunológico (Wanga et al., 2019).

6) *Exceso de peso y obesidad*: el exceso de peso y la obesidad están asociados con una inflamación crónica de bajo grado. Esta inflamación puede alterar la función del sistema inmune y aumentar el riesgo de infecciones y enfermedades crónicas (Kane y Lynch, 2019).

1.6.2. Alimentación para fortalecer la inmunidad y reducir complicaciones en SARS-CoV-2

Se ha demostrado que la deficiencia de micronutrientes, pueden aumentar el riesgo de infección por SARS-CoV-2, ya que está relacionada con una baja respuesta del sistema inmune (Gasmi et al., 2020).

a) *Vitamina A*: es esencial para la diferenciación y función normal de varias células del sistema inmunológico, incluyendo linfocitos, células NK y dendríticas. Ayuda en la maduración y especialización de estas células, permitiéndoles realizar sus funciones específicas en la respuesta inmunológica, como la producción de anticuerpos, la respuesta celular y la presentación de antígenos. Esta vitamina se encuentra en alimentos como: hígado, huevos, productos lácteos, zanahorias, calabaza, espinacas y otros vegetales de hojas verde oscuro (Karlsson et al., 2021).

b) *Vitamina C*: la vitamina C actúa como antioxidante, protegiendo las células del sistema inmunológico contra el daño causado por radicales libres. Es esencial para la producción y función de células inmunológicas como linfocitos y fagocitos, clave en la defensa del cuerpo contra infecciones. Además, tiene propiedades

antiinflamatorias, regulando la respuesta inflamatoria y la producción de citocinas. Se encuentra en alimentos como: cítricos, fresas, kiwis y pimientos rojos (Firouzi et al., 2022).

c) *Vitamina D*: las formas D2 y D3 de esta vitamina tienen efectos similares en el sistema inmunológico, regulando la respuesta innata y la adaptativa. Además de sus propiedades antiinflamatorias, pueden modular la respuesta inflamatoria del sistema inmunológico. Refuerzan la función de barrera del cuerpo, dificultando la entrada de microorganismos y la propagación de infecciones. La vitamina D se obtiene principalmente de la exposición al sol, y también se encuentra en alimentos como pescados grasos, hígado de res, yema de huevo y productos lácteos fortificados (Durrant et al., 2022).

d) *Vitamina E*: es un antioxidante importante para la protección del sistema inmunológico, previniendo el daño celular por radicales libres y manteniendo la integridad de las membranas celulares. Además, influye en la producción y función de células inmunitarias, y puede tener efectos antiinflamatorios al regular la producción de sustancias inflamatorias. Se encuentra en alimentos como: frutos secos, semillas, aceites vegetales, verduras de hoja verde y cereales integrales (Shahidi et al., 2021).

e) *Zinc*: es esencial para numerosas enzimas que intervienen en procesos bioquímicos clave para el sistema inmunológico. Juega un papel fundamental en el desarrollo y funcionamiento de diversas células inmunitarias, como linfocitos y macrófagos. Además de regular la respuesta inmunológica, contribuye a la formación y reparación de tejidos, fortaleciendo las defensas del cuerpo contra patógenos. Equilibra las respuestas inflamatorias y antiinflamatorias. Alimentos ricos en zinc incluyen carnes rojas, mariscos, lácteos, legumbres, nueces y semillas. También se puede encontrar en alimentos fortificados como cereales y productos de panadería (Shkembi y Huppertz, 2021).

f) *Selenio*: es un componente esencial de la enzima glutatión peroxidasa, que actúa como antioxidante en el cuerpo, neutralizando los radicales libres y protegiendo las células del daño oxidativo. Además, regula la proliferación y la actividad de los linfocitos T y B, fundamentales en la respuesta inmunológica adaptativa, y afecta la función de otras células del sistema inmunológico como los macrófagos y las células NK. Trabaja en conjunto con la vitamina E para proteger las membranas celulares y lipoproteínas de la oxidación, lo que es crucial para mantener la integridad estructural y la función celular adecuada. Alimentos ricos en selenio incluyen mariscos, carne de res, aves de corral, huevos, nueces de Brasil y germen de trigo (Coskún et al., 2020).

g) *Omega-3*: Los ácidos grasos omega-3 son capaces de influir en la actividad de diversas células del sistema inmunológico, como los linfocitos, los macrófagos y las células dendríticas. Poseen propiedades antiinflamatorias beneficiosas para mitigar respuestas inflamatorias excesivas, particularmente en el contexto de infecciones como la causada por el SARS-CoV-2. Además de su función reguladora inmunológica, los omega-3 son componentes esenciales de las membranas celulares, contribuyendo a mantener su integridad y funcionalidad. Fuentes ricas en omega-3 incluyen pescados grasos como el salmón y la caballa, así como nueces (Wierenga et al., 2021).

2. Discusión

La pandemia de COVID-19 ha evidenciado una interacción compleja entre salud, nutrición y cultura alimentaria. Ciertos grupos de población, especialmente aquellos con enfermedades crónicas no transmisibles (ENT) como la obesidad, la hipertensión y la diabetes, tienen un mayor riesgo de complicaciones graves y mortalidad. Estas enfermedades están estrechamente relacionadas con los hábitos alimentarios poco saludables y un estilo de vida sedentario. La relación entre la dieta, el sistema inmunológico y el SARS-CoV-2 es fundamental para comprender cómo la nutrición puede influir en la susceptibilidad y la gravedad de la enfermedad.

La malnutrición, ya sea por la falta de nutrientes esenciales o el consumo excesivo de calorías vacías, puede debilitar el sistema inmunológico y aumentar el riesgo de infecciones virales, incluyendo el COVID-19. Mantener una dieta equilibrada fortalece las defensas del organismo y reduce el riesgo de complicaciones graves.

La cultura alimentaria influye de manera crucial en las decisiones alimentarias de las personas. En México, su gastronomía refleja la diversidad cultural e histórica, pero también está influida por la globalización y la comercialización de alimentos procesados poco saludables. La industria alimentaria desempeña un papel importante en la promoción de estos productos, lo que puede contribuir a la epidemia de obesidad y otras enfermedades. La dieta mediterránea emerge como un modelo de alimentación saludable basado en alimentos frescos, nutritivos y ricos en antioxidantes. Este patrón alimentario ha demostrado tener numerosos beneficios para la salud, incluyendo la reducción del riesgo de enfermedades crónicas y la mejora del sistema inmunológico. Fomentar la adopción de la dieta mediterránea y otros modelos saludables puede ser una estrategia efectiva para prevenir enfermedades.

Mejorar la alimentación mediante la promoción de dietas equilibradas y la educación nutricional desde edades tempranas es crucial para prevenir

complicaciones graves y reducir la mortalidad asociada con la COVID-19. Los programas que fomenten una alimentación saludable y promuevan un estilo de vida activo pueden desempeñar un papel crucial en esta estrategia preventiva.

3. Conclusiones

El proceso de infección por el SARS-CoV-2 y los factores de riesgo asociados con el desarrollo de complicaciones graves, como el SDRA, son áreas críticas de investigación en la lucha contra la COVID-19. Comprender los mecanismos subyacentes de la infección viral y la respuesta inmunológica es fundamental para el desarrollo de estrategias efectivas de prevención. Por lo tanto, una dieta saludable y equilibrada puede fortalecer el sistema inmunológico. La mayoría de los casos graves de COVID-19, especialmente aquellos con insuficiencia pulmonar, son una consecuencia de una inmunopatología provocada por una respuesta inmunitaria innata desequilibrada, característica de una enfermedad autoinflamatoria.

Adoptar hábitos alimentarios saludables puede prevenir el riesgo de complicaciones graves en caso de infección por SARS-CoV-2. Es fundamental implementar programas de educación nutricional para cambiar hábitos y reducir los riesgos de enfermedades. Estos programas deben proporcionar estrategias prácticas, como aprender a leer etiquetas de alimentos, planificar comidas saludables y cocinar alimentos nutritivos en casa.

Referencias

- Angelidi, A. M., Kokkinos, A., Katechaki, E., Ros, E. y Mantzoros, C. S. (2021). Mediterranean diet as a nutritional approach for COVID-19. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 114(2021), 154407. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2020.154407>
- Bailly, L., Fabre, R., Courjon, J., Carles, M., Dellamonica, J. y Pradier, C. (2022). Obesity, diabetes, hypertension, and severe outcomes among inpatients with coronavirus disease 2019: a nationwide study. *Microbiology and Infectious Diseases*, 28(1), 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.09.010>
- Boeing, H., Bechthold, A., Bub, A., Ellinger, S., Haller, D., Kroke, A. et al. (2012). Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. *Europa Journal of Nutrition* 51(6), 637-653. DOI: 10.1007/s00394-012-0380-y
- Calcuttawala, F. (2022). Nutrition as a key to boost immunity against COVID-19. *Nutrición Clínica ESPEN*, 49(2022), 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.04.007>
- Candiloro, F., Borioli, V., Borsellino, G., Picozza, M., Pellini, R., Cereda, E. et al. (2021). Influence of different lipid emulsions on specific immune cell functions in head and neck cancer patients receiving supplemental parenteral nutrition: An exploratory analysis. *Nutrition*, 86, 111178. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111178>
- Carretero, J., Mafé, M. C., Garrachón, F., Escudero, E., Maciá, E. y Miramontes, J. P., (2020). Inflammation, malnutrition, and SARS-CoV-2 infection: a disastrous combination. *Revista Clínica Española*, 220(8), 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.07.007>
- Cascella, M., Rajnik, M., Aleem, A., Dulebohn, S. C. y Di Napoli, R. (2023). Features, Evaluation, and Treatment of Coronavirus (COVID-19). *StatPearls Publishing*, (2023), 1-17. <https://scholarlyworks.lvhn.org/medicine/2063/>
- Catalin, R. E., Martin-Lujan, F., Salamanca-Gonzalez, P., Pallega-Millan, M., Villalobos, F., Santigosa-Ayala, A. et al. (2023). Mediterranean Diet and Lung Function in Adults Current Smokers: A Cross-Sectional Analysis in the MEDISTAR Project. *Nutrients*, 15(5), 1272. <https://doi.org/10.3390/nu15051272>
- Cena, H. y Calder, P. C. (2020). Defining a Healthy Diet: Evidence for The Role of Contemporary Dietary Patterns in Health and Disease. *Nutrients*, 12(2), 334. DOI: 10.3390/nu12020334.
- Coskun, M., Kayis, T., Gulsu, E. y Alp, E. (2020). Effects of Selenium and Vitamin E on Enzymatic, Biochemical, and Immunological Biomarkers in *Galleria mellonella* L. *Scientific Reports*, 10(1), 9953. DOI: 10.1038/s41598-020-67072-9
- Davis, C., Bryan, J., Hodgson, J. y Murphy, K. (2015). Definition of the Mediterranean Diet; a Literature Review. *Nutrients*, 7(11), 9139-9153. <https://doi.org/10.3390/nu7115459>

- De Macedo, I. C., de Freitas, J. S. y da Silva Torres, I. L. (2016). The Influence of Palatable Diets in Reward System Activation: A Mini Review. *Advances in Pharmacological Sciences*, 2016(1), 7238679. <https://doi.org/10.1155/2016/7238679>
- Diab, A., Dastmalchi, L. N., Gulati, M. y Michos, E. D. (2023). A Heart-Healthy Diet for Cardiovascular Disease Prevention: Where Are We Now? *Vascular Health and Risk Management*, 19, 237-253. <https://doi.org/10.2147/VHRM.S379874>
- Diamond, M. S. y Kanneganti, T. D. (2022). Innate immunity: the first line of defense against SARS-CoV-2. *Nature Immunology*, 23, 165-176 <https://doi.org/10.1038/s41590-021-01091-0>
- Dos Santos, P., Valentini, H., Wietholter, V., Gallina, P., Ranquetat, T., Marinowic, D. et al. (2022). When to test for COVID-19 using real-time reverse transcriptase polymerase chain reaction: a systematic review. *The International Journal of Infectious Diseases*, 123, 58-69. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2022.06.037>
- Dreher, M. y Kersten, A. (2020). COVID-19: Should We Be Concerned about the Lack of Nutritional Support for Patients? *European Journal of Nutrition*, 59(6), 2361-2364. DOI: 10.1007/s00394-020-02398-5.
- Durrant, L. R., Bucca, G., Hesketh, A., Möller-Levet, C., Tripkovic, L., Wu, H. et al. (2022). Vitamins D2 and D3 Have Overlapping but different effects on the human immune system revealed through analysis of the blood transcriptome. *Front Immunol*, 13, 790444. DOI: 10.3389/fimmu.2022.790444.
- El-Ghitany, E. M., Hashish, M. H., Farghaly, A. G., Omran, E. A., Osman, N. y Fekry, M. (2022). Infección asintomática versus sintomática por SARS-CoV-2: un estudio transversal de seroprevalencia. *Tropical Medicine and Health*, 50, 98. <https://doi.org/10.1186/s41182-022-00490-9>
- Fan, H., Wang, Y., Ren, Z., Liu, X., Zhao, J., Yuan, Y. et al. (2023). Mediterranean diet lowers all-cause and cardiovascular mortality for patients with metabolic syndrome. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 15(1), 107. <https://doi.org/10.1186/s13098-023-01052-7>
- Felsenstein, S. y Hedrich, C. M. (2020). SARS-CoV-2 infections in children and young people. *Clinical Immunology*, 220, 108588. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2020.108588>
- Ferro, Y., Pujia, R., Maurotti, S., Boragina, G., Mirarchi, A., Gnagnarella, P. et al. (2021). Mediterranean Diet a Potential Strategy against SARS-CoV-2 Infection: A Narrative Review. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, 57(12), 1389. <https://doi.org/10.3390/medicina57121389>
- Firouz, J. S., Pahlavani, N., Gholizadeh, N. J., Stephen, C. Z., Taghi, B. M. y Malekahmadi, M. (2022). The effect of Vitamin C and Zn supplementation on the immune system and clinical outcomes in COVID-19 patients. *Clinical Nutrition Open Science*, 44, 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.nutos.2022.06.006>

- Gasmi, A., Tippairote, T., Kumar, P., Peana, M., Menzel, A., Dadar, M., Gasmi, A. y Bjorklund, G. (2020). Micronutrients as immunomodulatory tools for COVID-19 management. *Clinical Immunology*, 220, 108545. <https://doi.org/10.1016/j.clim.2020.108545>
- Gombart, A. F., Pierre, A. y Maggini, S. (2020). A review of micronutrients and the immune system-working in harmony to reduce the risk of infection. *Nutrients*, 12(1), 236. DOI: 10.3390/nu12010236.
- Hill, J. O., Wyatt, H. R. y Peters, J. C. (2012). Energy balance and obesity. *Circulation*, 126(1), 126-132. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.087213>
- Kabir, A., Miah, S. y Islam, A. (2018). Factors influencing eating behavior and dietary intake among resident students in a public university in Bangladesh: A qualitative study. *PloS One*, 13(6), e0198801. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198801>
- Kane, H. y Lynch, L. (2019). Innate Immune Control of Adipose Tissue Homeostasis. *Trends in Immunology*, 40(9), 857-872. <https://doi.org/10.1016/j.it.2019.07.006>
- Kansra, A. R., Lakkunarajah, S. y Jay, M. S. (2021). Childhood and Adolescent Obesity: A Review. *Frontiers in Pediatrics*, 8, 581461. <https://doi.org/10.3389/fped.2020.581461>
- Karlsson, O., Kim, R., Hasman, A. y Subramanian, S. V. (2021). Consumption of Vitamin-A-Rich Foods and Vitamin A Supplementation for Children under Two Years Old in 51 Low- and Middle-Income Countries. *Nutrients*, 14(1), 188. DOI: 10.3390/nu14010188.
- Kelly, B. y Pearce, E. L. (2020). Amino Assets: How Amino Acids Support Immunity. *Cell Metabolism*, 32(2), 154-175. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2020.06.010>
- Khan, J., Khan, M. Z., Ma, Y., Meng, Y., Mushtaq, A., Shen, Q. et al. (2022). Overview of the Composition of Whole Grains' Phenolic Acids and Dietary Fibre and Their Effect on Chronic Non-Communicable Diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3042. DOI: 10.3390/ijerph19053042
- Kompaniyets, L., Goodman, A. B., Belay, B., Freedman, D. S., Sucusky, M. S., Lange, S. J. et al. (2021). Body mass index and risk for COVID-19-related hospitalization, intensive care unit admission, invasive mechanical ventilation, and death. *United States CDC*, 70(10), 355-361. https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/70/wr/mm7010e4.htm?s%5C_cid=mm7010e4%5C_w
- Kopanska, M., Barnaś, E., Blajda, J., Kuduk, B., Lagowska, A. y Banaś-Ząbczyk, A. (2022). Effects of SARS-CoV-2 Inflammation on Selected Organ Systems of the Human Body. *International journal of Molecular Sciences*, 23(8), 4178. DOI: 10.3390/ijms23084178
- Krynytska, I., Marushchak, M., Birchenko, I., Dovgalyuk, A. y Tokarsky, O. (2021). COVID-19-associated acute respiratory distress syndrome versus classical acute

- respiratory distress syndrome (a narrative review). *Iranian Journal of Microbiology*, 13(6), 737-747. <https://doi.org/10.18502/ijm.v13i6.8072>
- Li, J., Liu, H. H., Yin, X. D., Li, C. C. y Wang, J. (2021). COVID-19 illness and autoimmune diseases: recent insights. *Inflammation Research*, 70(4), 407-428. DOI: 10.1007/s00011-021-01446-1.
- Liu, J., Liao, X., Qian, S., Yuan, J., Wang, F., Liu, Y. et al. (2020). Transmisión comunitaria del síndrome respiratorio agudo severo Coronavirus 2, Shenzhen, China, 2020. *Enfermedades Infecciosas Emergentes*, 26(6), 1320-1323. <https://doi.org/10.3201/eid2606.200239>.
- Lizcano, P. J., Maestre, M. M., Mesías, F. J., Lami, O., Giray, H., Özçiçek, D. C. et al. (2024). Does Consumers' Cultural Background Affect How They Perceive and Engage in Food Sustainability? A Cross-Cultural Study. *Foods*, 13(2), 311. <https://doi.org/10.3390/foods13020311>
- Long, J. (2003). *Conquista y comida. Consecuencias del encuentro de dos mundos*. UNAM.
- Lowery, S. A., Sariol, A. y Perlman, S. (2021). Innate immune and inflammatory responses to SARS-CoV-2: Implications for COVID-19. *Cell Host & Microbe*, 29(7), 1052-1062. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2021.05.004>
- Mahmood, L., Flores-Barrantes, P., Moreno, L. A., Manios, Y. y Gonzalez-Gil, E. M. (2021). The Influence of Parental Dietary Behaviors and Practices on Children's Eating Habits. *Nutrients*, 13(4), 1138. <https://doi.org/10.3390/nu13041138>
- Makhoul, E., Aklinski, J. L., Miller, J., Leonard, C., Backer, S., Kahar, P. et al. (2022). A Review of COVID-19 in Relation to Metabolic Syndrome: Obesity, Hypertension, Diabetes, and Dyslipidemia. *Cureus*, 14(7), e27438. DOI: 10.7759/cureus.27438.
- Marrón-Ponce, J. A., Tolentino-Mayo, L., Hernández-F, M. y Batis, C. (2018). Trends in Ultra-Processed Food Purchases from 1984 to 2016 in Mexican Households. *Nutrients*, 11(1), 45. <https://doi.org/10.3390/nu11010045>
- Mingay, E., Hart, M., Yoong, S. y Hure, A. (2021). Why We Eat the Way We Do: A Call to Consider Food Culture in Public Health Initiatives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(22), 11967. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211967>
- Mokhtari, T., Hassani, F., Ghaffari, N., Ebrahimi, B., Yarahmadi, A. y Hassanzadeh, G. (2020). COVID-19 and multiorgan failure: A narrative review on potential mechanisms. *Journal of Molecular Histology*, 1(6), 613-628. DOI: 10.1007/s10735-020-09915-3
- Muniz, L. B., Alves-Santos, A. M., Camargo, F., Martins, D. B., Celes, M. R. N. y Naves, M. M. V. (2019). High-Lard and High-Cholesterol Diet, but not High-Lard Diet, Leads to Metabolic Disorders in a Modified Dyslipidemia Model. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 113(5), 896-902. <https://doi.org/10.5935/abc.20190149>

- Nordström, K., Coff, C., Jönsson, H., Nordenfelt, L. y Görman, U. (2013). Food and health: individual, cultural, or scientific matters? *Genes & Nutrition*, 8(4), 357-363. <https://doi.org/10.1007/s12263-013-0336-8>
- Pankaj, S. K. y Keener, K. M. (2017). A review and research trends in alternate frying technologies. *Current Opinion in Food Science*, 16(agosto), 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.09.001>
- Pérez-Cano, F. J., Franch, A., Pérez-Berezo, T., Ramos-Romero, S., Castellote, C. y Castell, M. (2013). Effects of Flavonoids on the Immune System. En R. Ross Watson y V. Preedy. (Eds.), *Arthritis and related inflammatory disease* (pp. 175-178). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397156-2.00011-9>
- Petrova, D., Salamanca-Fernández, E., Rodríguez Barranco, M., Navarro Pérez, P., Jiménez Moleón, J. J. y Sánchez, M. J. (2020). Obesity as a risk factor in COVID-19: Possible mechanisms and implications. *Atención primaria*, 52(7), 496-500. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.05.003>
- Rakhra, V., Galappaththy, S. L., Bulchandani, S. y Cabandugama, P. K. (2020). Obesity and the Western Diet: How We Got Here. *Missouri medicine*, 117(6), 536-538.
- Sanz, J. M., Gómez, A. M. y Martín, R. O. (2021). Role of the immune system in SARS-CoV-2 infection: immunopathology of COVID-19. *Medicine*, 13(33), 1917-1931. <https://doi.org/10.1016/j.med.2021.05.005>
- Sapir, T., Averch, Z., Lerman, B., Bodzin, A., Fishman, Y. y Maitra, R. (2022). COVID-19 and the Immune Response: A Multi-Phasic Approach to the Treatment of COVID-19. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8606. DOI: 10.3390/ijms23158606
- Schrock, J. M., Ryan, D. T., Saber, R., Benbow, N., Vaught, L. A., Reiser, N. et al. (2021). Exposure to SARS-CoV-2 within the household is associated with greater symptom severity and stronger antibody responses in a community-based sample of seropositive adults. *MedRxiv. The Preprint Server for Health Sciences*, (2021), 1-9. <https://doi.org/10.1101/2021.03.11.21253421>
- Schwingshackl, L. y Hoffmann, G. (2014). Comparison of the long-term effects of high-fat v. low-fat diet consumption on cardiometabolic risk factors in subjects with abnormal glucose metabolism: a systematic review and meta-analysis. *The British Journal of Nutrition*, 111(12), 2047-2058. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000464>
- Sette, A. y Crotty, S. (2022). Immunological memory to SARS-CoV-2 infection and COVID-19 vaccines. *Immunological Reviews*, 310(1), 27-46. <https://doi.org/10.1111/imr.13089>
- Shah, V. K., Fimal, P., Alam, A., Ganguly, D. y Chattopadhyay, S. (2020). Overview of Immune Response During SARS-CoV-2 Infection: Lessons From the Past. *Frontiers in Immunology*, 11, 1949. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01949>

- Shahidi, F., Pinaffi, A. C., Fuentes, J., Speiskyc, H. y Costa de Camargo, A. (2021). Vitamin E as an essential micronutrient for human health: Common, novel, and unexplored dietary sources. *Free Radical Biology and Medicine*, 176(20), 312-321. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.09.025>
- Shakoor, H., Feehan, J. A., Dhaheri, A. S., Ali, H. I., Platat, C., Ismail, L. C. et al. (2021). Immune-boosting role of vitamins D, C, E, zinc, selenium, and omega-3 fatty acids: Could they help against COVID-19? *Maturitas*, 143, 1-9. DOI: 10.1016/j.maturitas.2020.08.003
- Shkembi, B. y Huppertz, T. (2021). Influence of Dairy Products on Bioavailability of Zinc from Other Food Products: A Review of Complementarity at a Meal Level. *Nutrients*, 13(12), 4253. DOI: 10.3390/nu13124253.
- Silva, M. J. A., Ribeiro, L. R., Lima, K. V. B. y Lima, L. N. G. C. (2022). Adaptive immunity to SARS-CoV-2 infection: A systematic review. *Frontiers in Immunology*, 13, 1001198. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1001198>
- Sotos-Prieto, M., Del Rio, D., Drescher, G., Estruch, R., Hanson, C., Harlan, T. et al. (2022). Mediterranean diet-promotion and dissemination of healthy eating: proceedings of an exploratory seminar at the Radcliffe institute for advanced study. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 73(2), 158-171. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1941804>
- Suthar, M., Zimmerman, M., Kauffman, R., Ahmed, R., Roback, J. y Wrammert, J. (2020). Rapid generation of neutralizing antibody responses in COVID-19 patients. *Cell Reports Medicine*, 1(3), 100040. <https://doi.org/10.1016/j.xcrm.2020.100040>
- Szabó, Z., Marosvölgyi, T., Szabó, E., Bai, P., Figler, M. y Verzá, Z. (2020). The Potential Beneficial Effect of EPA and DHA Supplementation Managing Cytokine Storm in Coronavirus Disease. *Frontiers in Physiology*, 11, 1-5. DOI:10.3389/fphys.2020.00752
- Tristan, A., M., Napoletano, A., Sofi, F. y Dinu, M. (2023). Low-Grade Inflammation and Ultra-Processed Foods Consumption: A Review. *Nutrients*, 15(6), 1546. <https://doi.org/10.3390/nu15061546>
- Tremblay, A. J., Després J.P., Piché M.-È., Nadeauc A., Bergeronb J., Almeras N. et al. (2004). Associations between the fatty acid content of triglyceride, visceral adipose tissue accumulation, and components of the insulin resistance syndrome. *Metabolism*, 53(3), 310-317. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2003.10.011>
- Utzon, N. A., Johansen, I. S., Explosión, L. L., Pedersen, R. M., Andersen, T. E., Madsen, L. W. (2023). Viral dynamics of SARS-CoV-2 in immunocompromised patients. *Clinical Microbiology and Infection*, 29(8), e1087. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2023.05.013>
- Wang, G., Xiang, Z., Wang, W. y Chen, Z. (2022). Seasonal coronaviruses and SARS-CoV-2: effects of preexisting immunity during the COVID-19 pandemic. *Journal of Zhejiang University-Science B*, 23(6), 451-460. <https://doi.org/10.1631/jzus.B2200049>

- Wanga, M., Wichiechot, S., Él, X., Fu, X., Huang, Q y Zhang, B. (2019). In vitro colonic fermentation of dietary fibers: Fermentation rate, short-chain fatty acid production and changes in microbiota. *Trends in Food Science & Technology*, 88(junio), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.005>
- Weyand, C. M. y Goronzy, J. J. (2016). Aging of the Immune System. Mechanisms and Therapeutic Targets. *Annals of the American Thoracic Society*, 13(5), S422-S428. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201602-095AW>
- Wieczfinska, J., Kleniewska, P. y Pawliczak, R. (2022). Oxidative Stress-Related Mechanisms in SARS-CoV-2 Infections. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2022(1), 5589089. <https://doi.org/10.1155/2022/5589089>
- Wierenga, K. A. y Pestka, J. J. (2021). Omega-3 Fatty Acids and Inflammation - You Are What You Eat! *Front Young Minds*, 9, 1-7. DOI: 10.3389/frym.2021.601068

CAPÍTULO 3.

Influencia de ácidos grasos en la membrana celular en la respuesta inmunológica frente al COVID-19

Jonathan David Acuña Villarreal¹

Rocío Margarita Uresti Marín¹

José Alberto Ramírez de León^{}*

Resumen

Los ácidos grasos son fundamentales para las células, incluyendo la estructura de las membranas, la regulación de procesos metabólicos y la señalización. Su composición puede variar debido a factores genéticos, hormonales y dietéticos. En esta investigación se analizó si las membranas celulares requieren ácidos grasos específicos para actividad óptima, como los omega-3, y se encontró que el tipo de ácido graso influye en su capacidad para llevar a cabo sus funciones. La composición de los ácidos grasos en la membrana celular es crucial para su respuesta inmunológica. Los ácidos grasos saturados, presentes en grandes cantidades, tienden a compactarse, lo que reduce la flexibilidad y capacidad de la membrana para realizar diversas funciones esenciales, como la captación de nutrientes y la comunicación celular. Por otro lado, una proporción adecuada de ácidos grasos poliinsaturados omega-6 y omega-3 en estas membranas es vital para mantener su fluidez y flexibilidad. Esto facilita la comunicación entre células, el transporte de moléculas a través de la membrana y la movilidad de las células inmunitarias a través de tejidos y vasos sanguíneos. En resumen, la composición de los ácidos grasos en las membranas celulares es un factor determinante en la capacidad del sistema inmunológico para responder eficazmente, lo que destaca la importancia de una dieta equilibrada para mantener la salud inmunológica.

Palabras clave: ácidos grasos, membrana celular, respuesta inmune, COVID-19.

¹ UATSCDH Universidad Autónoma de Tamaulipas.

^{*} ramirez@docentes.uat.edu.mx

1. Introducción

La membrana celular, también conocida como membrana plasmática, es una estructura común, y es esencial para mantener la integridad y la homeostasis de la célula. La bicapa lipídica es una estructura fundamental que compone las membranas celulares de todos los organismos vivos, consiste en una doble capa de moléculas de lípidos, principalmente fosfolípidos. Su función principal es actuar como una barrera selectiva que regula el paso de sustancias entre el interior y el exterior de la célula. Esta bicapa está en constante cambio, adaptándose y variando su composición lipídica con una notable diversidad molecular (Agostoni et al., 2013). El metabolismo de los lípidos desempeña un papel fundamental en la regulación del sistema inmunológico, tanto los lípidos exógenos como los endógenos son importantes para regular la activación, diferenciación y expansión de las células inmunitarias, así como para modular los fenotipos inflamatorios (Murray y Wynn, 2011).

Varios estudios han demostrado que la dieta afecta la composición de ácidos grasos de las membranas celulares de los tejidos. Los ácidos grasos (AG) son componentes destacados entre los diversos tipos de lípidos, desempeñando un papel de gran importancia en la nutrición celular debido a su amplia variedad de funciones. Los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) se destacan por sus beneficios para la salud. Contribuyen a mantener la salud cardiovascular, reducir la inflamación y promover el bienestar general. La inclusión de estos AG en la dieta tiene efectos positivos a nivel físico y pueden influir en la salud mental y emocional de manera integral (Calder, 2015).

El sistema inmunitario es complejo y altamente especializado, trabaja de manera coordinada para detectar y eliminar agentes patógenos, como bacterias, virus, hongos y otros organismos invasores, así como células anormales del propio cuerpo (Nicholson, 2016). La nutrición es crucial para la salud del sistema inmunológico. Las células necesitan varios nutrientes para funcionar bien, y algunos componentes de la dieta, como las vitaminas y los ácidos grasos, tienen propiedades que ayudan a regular el sistema (Noor et al., 2021). Las implicaciones de no contar con ellos puede ser grave y afectar su funcionamiento (Saunders, 2010).

1.1. Los ácidos grasos en las células del sistema inmunológico

Dentro del sistema inmunitario hay varios tipos de células que desempeñan funciones específicas en la protección del cuerpo, cada una de ellas con estructuras y roles especializados (Monteanu y Schwartz, 2022). Se divide en dos: innato y adaptativo. Las células del sistema innato son las primeras en responder a las amenazas y proporcionan una defensa general. Estas reconocen patrones moleculares comunes

en los patógenos y actúan rápidamente para eliminarlos (Natividad, 2023). Una función crucial del innato es activar una respuesta inmunitaria más sofisticada y específica a través del sistema adaptativo, el cual se encarga de eliminar los patógenos que lograron evadir las defensas iniciales. El adaptativo se activa en respuesta a patógenos específicos, desarrollando una respuesta precisa. Las células de este sistema son altamente especializadas y se dividen principalmente en linfocitos B y linfocitos T (Natividad, 2023).

Todas las células constan de membranas plasmáticas formadas por bicapas lipídicas, donde los lípidos constituyen el 50 % de sus moléculas (Alberts, 2002). En las células de los mamíferos, los fosfolípidos y el colesterol se ensamblan para formar las membranas bicapa que constituyen la membrana plasmática. Los fosfolípidos son cruciales para la estructura de estas membranas celulares, siendo la fosfatidilcolina y la fosfatidiletanolamina los dos más abundantes. Estos dos representan más del 50 % de la masa total de fosfolípidos en las membranas celulares (Parek et al., 2000). En las células de mamíferos, se sintetizan a través de una serie de reacciones enzimáticas, principalmente en el retículo endoplásmico, las mitocondrias y el aparato de Golgi. Un metabolismo alterado de los fosfolípidos está asociado con diversas enfermedades. La composición de los ácidos grasos en los fosfolípidos puede variar en función de varios factores, incluida la dieta (Morita y Ikeda, 2022). La composición de ácidos grasos en las células es de gran interés debido a su influencia potencial en la función inmunológica y en la respuesta del sistema ante patógenos y agentes externos (Gutiérrez et al., 2019).

1.2. Composición los AG en las células del sistema inmunológico

La composición de AG en las células del sistema inmunológico puede variar según el tipo de célula y las condiciones ambientales. La estructura elemental de un fosfolípido consiste en una cabeza hidrofílica que incluye un grupo fosfato y una molécula de glicerol, junto con una cola hidrofóbica compuesta por dos ácidos grasos que pueden ser de tipo saturado o insaturado (De Jong et al., 2014). La composición específica de AG en las células puede ser influida por la dieta y el entorno en el que se encuentran las células. La relación entre la ingesta de ácidos grasos saturados (AGS) y la salud inmunológica es compleja. Mientras que el consumo excesivo de AGS puede estar relacionado con efectos negativos en la salud cardiovascular y metabólica, los AGPI están relacionados con efectos positivos y saludables (Siri-Tarino et al., 2015).

1) *Ácido graso oleico*: es un AGMI omega-9 que el cuerpo humano puede sintetizar a partir del ácido esteárico, desempeña varias funciones importantes en las células del sistema inmunológico, contribuyendo a la estructura de las membranas

celulares y a la regulación de procesos inflamatorios y de señalización (Farag y Gad, 2022). Se encuentra en diversas fuentes alimentarias, como el aceite de oliva, el aceite de aguacate, frutos secos (nueces, almendras) y algunas semillas. Varios estudios sugieren que puede tener propiedades antiinflamatorias y antioxidantes (Marcelino et al., 2019).

2) *Ácido graso linoleico (LA)*: es un ácido graso esencial (AGE) que pertenece a la familia de los AGPI omega-6, es un componente importante de las membranas celulares que ayuda a mantener su integridad y fluidez. El ácido linoleico es el precursor de otros omega-6 y omega-3, los cuales son fundamentales para la síntesis de mediadores lipídicos que regulan procesos inflamatorios, la coagulación sanguínea y la respuesta inmune (Yamaguchi et al., 2022). Uno de los ácidos grasos más relevantes que se forma a partir del linoleico es el AG araquidónico (AA), a través de una serie de reacciones enzimáticas, precursor de diversas moléculas de señalización llamadas eicosanoides, implicados en las respuestas inflamatorias (Talima y El Ridi, 2017). El LA es el tipo más destacado de los AGPI en la dieta occidental. Está presente en prácticamente todos los alimentos, y en mayor cantidad en productos como aceites vegetales, semillas y frutos secos (Whelan, 2008). Consumir ácido linoleico en cantidades adecuadas puede contribuir a mantener niveles saludables de colesterol en sangre, reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Froyen y Burns, 2020).

3) *Ácido graso alfa-linolénico (ALA)*: es un AGE que pertenece a la familia de los AGPI omega-3. Es el precursor de otros AG omega-3, como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), que son conocidos por sus efectos beneficiosos en la salud cardiovascular, el desarrollo cerebral y la regulación de la inflamación (Valenzuela et al., 2011). Tiene propiedades antiinflamatorias que pueden modular la respuesta inmunológica, contribuyendo a una respuesta inflamatoria más controlada, con la intención de evitar inflamaciones excesivas que podrían dañar los tejidos y las células. También se ha sugerido que el AG omega-3 puede influir en la función de las células inmunológicas y mejorar la capacidad del sistema inmunológico para combatir infecciones (Gutiérrez et al., 2019). Se encuentra en una variedad de alimentos, pero es más abundante en fuentes marinas, como pescados grasos (salmón, sardinas, arenque) y en algunas fuentes vegetales como las semillas de chía, las nueces y el aceite de linaza. El equilibrio entre los ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la dieta es crucial para regular la conversión del LA en AA. Un desequilibrio, en el que haya un exceso de AG omega-6 en comparación con omega-3, puede aumentar la conversión de LA en AA (Kumar y Keum, 2018). Esto puede contribuir a una respuesta inflamatoria excesiva en el cuerpo (Balta et al., 2021).

4) *Ácido graso palmítico*: es un AGS y tiende a ser sólido a temperatura ambiente, es un precursor fundamental en la biosíntesis de ácidos grasos saturados y monoinsaturados más largos y complejos, así como de otros importantes lípidos estructurales y funcionales, a través de procesos de elongación y desaturación. Es uno de los AG más comunes en la dieta humana, se encuentra de manera natural en una variedad de alimentos, tanto de origen animal como vegetal, así como alimentos procesados. Las dietas altas en grasas saturadas, incluido el ácido palmítico, pueden promover la inflamación. Es recomendable su consumo en cantidades moderadas para ciertas funciones en el cuerpo, ya que el consumo excesivo se ha asociado con varios problemas de salud cardiovascular (Carta et al., 2017).

5) *Ácido graso esteárico*: es un AGS y es un componente importante en la producción de ácido oleico a través de un proceso llamado desaturación, que es una reacción enzimática que ocurre en el cuerpo y que convierte los AGS en ácidos grasos insaturados (AGI). La capacidad del cuerpo para realizar esta conversión puede variar y depende de factores genéticos, hormonales y dietéticos (Harvey et al., 2010). El AG esteárico se encuentra en diversas fuentes de grasa, tanto de origen animal como vegetal, en carnes, aceites vegetales (aceite de coco y palma), en manteca de cacao, chocolates, frutas secas, nueces de Brasil y productos de panadería. Es uno de los AGS más comunes en la naturaleza y desempeña varios roles en el cuerpo (Kris-Etherton et al., 2005).

6) *Ácido graso mirístico*: es un AGS, puede ser un precursor en la biosíntesis de otros AG más largos a través de procesos de elongación y desaturación en el organismo. El AG palmítico deriva del mirístico; estos procesos de conversión son regulados por enzimas y pueden variar en función de factores genéticos, hormonales y dietéticos. Se encuentra en varias fuentes de grasa, de origen animal y vegetal como carnes, productos lácteos, huevos, aceite de coco y palma, alimentos procesados como productos horneados, *snacks* y alimentos fritos, se recomienda consumirlo con moderación y como parte de una dieta equilibrada (Christou et al., 2021).

1.3. Función de los AG en la membrana celular

Los AG desempeñan una serie de funciones cruciales en el equilibrio interno y la estructura de las células y de todo el organismo humano. Constituyen los principales componentes de todas las membranas biológicas, formando parte de esfingolípidos, fosfolípidos, glicolípidos y lipoproteínas. Además, desempeñan el papel de almacenar energía en forma de triacilglicéridos. Por último, diversos productos derivados de los AG actúan como hormonas y mediadores de lípidos, que son esenciales en los procesos internos y en la comunicación entre células y el entorno extracelular (De Carvalho y Caramujo, 2018).

1) *Constitución de la membrana celular*: los AG son componentes esenciales de las membranas celulares, ya que determinan su fluidez y su permeabilidad, lo que afecta la interacción entre las células y su entorno, así como la capacidad de las células inmunológicas para comunicarse y responder a señales (Schumann, 2016).

2) *Barrera protectora*: los AG en las membranas celulares actúan como una barrera lipídica que separa el interior de la célula del entorno externo. Esta ayuda a mantener la integridad celular y a proteger a las células del estrés oxidativo y el daño causado por patógenos (Horn y Jaiswal, 2016).

3) *Regulación de señalización*: los AG pueden actuar como precursores de moléculas de señalización intracelular y extracelular. Estas moléculas son esenciales para la comunicación entre las células del sistema inmune y la coordinación de sus respuestas (Sumida et al., 1993).

4) *Modulación de inflamación*: diferentes tipos de AG pueden influir en la respuesta inflamatoria del sistema inmunológico. Los AG omega-3 tienen propiedades antiinflamatorias y pueden ayudar a regular la inflamación excesiva (Zivkovic et al., 2011).

5) *Respuesta inmunológica específica*: los AG pueden influir en la respuesta inmunológica específica, incluida la producción de anticuerpos. AG específicos pueden ser necesarios para la activación y la función adecuada de células como los linfocitos B y T, que son esenciales para la respuesta inmunológica adaptativa (Radzikowska et al., 2019).

6) *Función de proteínas de membrana*: algunas proteínas de membrana requieren interacciones con AG para funcionar correctamente. Estos pueden contribuir a anclar las proteínas en la membrana y facilitar su función (Escribá et al., 2008).

7) *Comunicación celular*: los lípidos en la membrana celular pueden funcionar como receptores y canales que facilitan la comunicación entre ellas. Los esfingolípidos y otros lípidos especializados están involucrados en la señalización celular, permitiendo que se comuniquen y coordinen sus respuestas entre sí (Merrill y Sandhoff, 2002).

8) *Endocitosis y exocitosis*: los lípidos de la membrana son fundamentales para los procesos de endocitosis y exocitosis, donde la célula puede tomar moléculas y partículas del entorno o liberar sustancias al medio externo. Estos procesos son esenciales para la función inmunológica, ya que permiten la captura de antígenos y la liberación de moléculas señalizadoras (Degreif et al., 2019).

9) *Regulación de receptores y moléculas de adhesión*: algunos lípidos como los esfingolípidos, colesterol y lípidos acoplados a proteínas, pueden influir en la

regulación de los receptores de superficie y moléculas de adhesión en la membrana celular. Estos son cruciales para la activación y coordinación de la respuesta inmunológica (Khalili y Ahmad, 2015).

1.4. Funciones de la membrana celular

La membrana celular es una bicapa lipídica que consiste en dos capas de fosfolípidos, que rodean a todas las células y actúan como una barrera semipermeable que regula el flujo de moléculas dentro y fuera de la célula (Cooper, 2000). Algunas de las principales funciones de la membrana y los factores que influyen por la composición de los lípidos en las células del sistema inmunológico son las siguientes:

1) *Barrera selectiva*: actúa como una barrera selectiva que regula el paso de sustancias hacia adentro y hacia afuera de la célula. Los compuestos que evitan o dificultan el paso de sustancias a través de esta membrana son: lípidos de la membrana, proteínas de membrana, glúcidos de superficie. La composición de los lípidos de membrana, especialmente los fosfolípidos, puede influir en su permeabilidad y en la capacidad de la célula para mantener un equilibrio adecuado de iones y nutrientes esenciales (Frallicciardi et al., 2022).

2) *Formación de microdominios*: la membrana celular puede formar microdominios o balsas lipídicas enriquecidas con ciertos lípidos, como el colesterol y los esfingolípidos. Estas microestructuras actúan como plataformas de señalización, concentrando proteínas y lípidos relevantes para las respuestas inmunológicas (Jiang y Li, 2022).

3) *Movilidad celular*: la fluidez de la membrana celular, que está influida por la composición de los lípidos, es esencial para la movilidad de las células del sistema inmunológico. Un ajuste adecuado puede facilitar su migración e interacción con otras células y patógenos (Torres et al., 2021).

1.5. Factores que afectan la función inmunológica por el tipo de AG en la membrana celular

El tipo de AG en las membranas celulares es una variable importante que puede afectar su funcionalidad y respuesta inmunológica. Las alteraciones en su composición pueden conducir a cambios en la movilidad, señalización y capacidad de respuesta inmunológica de las células, lo que a su vez puede influir en su condición para proteger al organismo contra infecciones y enfermedades (Batta et al., 2018). Se ha encontrado que la composición de ácidos grasos en las membranas celulares puede afectar la función inmunológica de varias maneras:

1) *Regulación de la inflamación*: los AG omega-3 como el EPA y el DHA, son conocidos por sus efectos antiinflamatorios, mientras que los omega-6 pueden tener

efectos proinflamatorios y antiinflamatorios, dependiendo de su metabolismo y del equilibrio entre los omega-6 y omega-3 en la dieta. Este equilibrio es importante para mantener una respuesta inflamatoria adecuada y controlada en el organismo. Un desequilibrio, con un exceso de AG omega-6, puede favorecer una respuesta inflamatoria más intensa (Poggioli et al., 2023).

2) *Respuesta inmunitaria innata*: los AG omega-3 pueden mejorar la actividad de las células NK, un tipo de célula del sistema inmunitario innato que desempeña un papel crucial en la detección y eliminación de células infectadas por virus y células tumorales (Maskrey et al., 2013).

3) *Función de células reguladoras*: los AG, en particular los omega-3, tienen un impacto significativo en la función de las células T reguladoras (Treg), que son cruciales para el mantenimiento de la tolerancia inmunológica y la prevención de respuestas autoinmunitarias excesivas. Estas células Treg desempeñan un papel esencial en la modulación de la respuesta inmune, evitando que el sistema inmunológico ataque los tejidos propios del cuerpo. Un aumento en los niveles de ácidos grasos omega-3 en las membranas celulares puede ayudar a mantener la tolerancia inmunológica al modular la activación y la proliferación de células T autoreactivas. Este efecto es fundamental para evitar enfermedades autoinmunitarias y mantener un equilibrio en la respuesta inmune (Zeng y Chi, 2013).

4) *Modificación de proteínas y señalización*: ciertos lípidos y AG desempeñan un papel crucial en la regulación de la ubicación y el movimiento de proteínas dentro de las células. Estos mecanismos son fundamentales para procesos vitales como la señalización celular y el tráfico intracelular de proteínas. Las modificaciones en los lípidos influyen significativamente en estas funciones. Los AG pueden unirse covalentemente a las proteínas en un proceso conocido como palmitoilación. Esta modificación permite que las proteínas se anclen a las membranas celulares, afectando su localización y función, permitiendo un impacto en el desarrollo de diversas enfermedades (Li et al., 2022).

1.6. Los AG en la función celular y la respuesta inmune

La dieta desempeña un papel fundamental en la modulación de la función celular inmunológica y la respuesta inmune. Los AG, en particular, son componentes importantes de la dieta que influyen en la salud del sistema inmunológico. La disponibilidad de AG en la dieta es esencial, una dieta rica en omega-3, disponible en el pescado graso, las semillas de chía y el aceite de linaza, proporciona la materia prima necesaria para la incorporación de omega-3 en las membranas celulares. Los AG compiten entre sí para ser incorporados en las membranas celulares. Si la dieta contiene una alta proporción de omega-3, pueden desplazar a los AG

menos beneficiosos, como los omega-6 y los AGS, en las membranas celulares (Surette, 2008). En ausencia de suficientes AGE, el cuerpo utilizará los ácidos grasos disponibles para construir los fosfolípidos que componen las membranas celulares (Gimenez et al., 2011). Esto puede resultar en una composición de lípidos en las membranas celulares que difiere de la ideal. Los ácidos grasos saturados dan menos flexibilidad a la membrana celular, lo que puede afectar su fluidez y función. Además, los ácidos grasos saturados en exceso pueden contribuir a la rigidez de las membranas, y en algunos casos, se han asociado con problemas de salud cardiovascular (Koyiloth y Gummadi, 2022).

1.7. Los AG ideales para la función inmunológica

Los ácidos grasos esenciales para el desempeño óptimo de las funciones de la membrana celular son aquellos que favorecen la fluidez, flexibilidad y funcionalidad de la membrana. Estos ácidos grasos contribuyen a la integridad estructural y dinámica de la bicapa lipídica, influyendo en la capacidad de la membrana para realizar procesos críticos como el transporte de moléculas, la señalización celular y la comunicación intercelular. Además, los ácidos grasos que promueven una adecuada fluidez de la membrana están asociados con beneficios para la salud celular y general, como la modulación de la inflamación y la prevención de enfermedades metabólicas. La incorporación equilibrada de ácidos grasos poliinsaturados, como los omega-3 y omega-6, es crucial para mantener estas propiedades y apoyar la homeostasis del organismo (De Carvalho y Caramujo, 2018).

1) *Ácidos alfa-linolénico (omega-3)*: es un AGE omega-3, que se convierte en EPA y DHA que se incorporan en las membranas celulares y tienen una variedad de funciones beneficiosas para la salud: regulación de la inflamación, apoyo a la función cardiovascular-cerebral e influencia en la respuesta inmunológica (Swanson et al., 2012). La conversión de ALA en EPA y DHA puede ser limitada en algunas personas, por lo que obtener estos AG directamente de fuentes como pescados grasos (salmón, sardinas, etcétera) o suplementos de aceite de pescado es la forma más eficaz de asegurar un adecuado suministro (Gerster, 1998). El EPA y el DHA tienen cadenas de AG largas y altamente insaturadas, lo que significa que tienen dobles enlaces en sus estructuras. Estos enlaces crean “codos” en las cadenas de AG, lo que hace que las moléculas de grasa no se empaqueten tan estrechamente, como resultado, las membranas celulares tienden a ser más fluidas y menos densas que las que contienen AGS. Esta fluidez es esencial para permitir el movimiento de moléculas y proteínas, lo que afecta la función celular (Sherratt et al., 2021). También influye en la función adecuada de las sinapsis y la transmisión de señales en las membranas de células

nerviosas y cerebrales. Una reducida fluidez puede afectar la respuesta de la célula a estímulos externos, como neurotransmisores o señales hormonales (Dyall, 2015).

Los AG EPA y DHA tienen propiedades antiinflamatorias al influir en la producción de mediadores inflamatorios, como las prostaglandinas y los leucotrienos, derivados de AA. Esto puede ayudar a reducir la inflamación en el entorno celular y, por lo tanto, influir en la respuesta inmunológica y la homeostasis (Allam-Ndoul et al., 2016). Los AG omega 3 ayudan a equilibrar las respuestas inmunitarias al modular la función de células inmunológicas, como los macrófagos y los linfocitos T. Esto puede ser importante para evitar respuestas inmunitarias hiperactivas o inapropiadas que pueden dar lugar a enfermedades autoinmunitarias o alergias (Kumar et al., 2023). Las células NK son un tipo de célula inmunológica que juega un papel crucial en la respuesta antiviral y antitumoral, los omega-3 pueden aumentar la actividad, lo que fortalece la respuesta inmunológica contra infecciones y células cancerosas (Mu et al., 2023). Los omega-3 pueden aumentar la fagocitosis, proceso por el cual las células fagocíticas, como los macrófagos, engullen patógenos y contribuyen a la respuesta inmunológica eficaz contra infecciones (Gutiérrez et al., 2019). También pueden influir en la función de las células B y T, que son componentes clave del sistema inmunológico adaptativo, mejorando la respuesta inmunológica efectiva a infecciones y para la producción de anticuerpos (Bland, 2022). Tienen propiedades antioxidantes que pueden ayudar a reducir el estrés oxidativo en el cuerpo, que puede desencadenar respuestas inmunológicas y contribuir a la inflamación crónica (Heshmati et al., 2019).

2) *Ácido linoleico (omega 6)*: el AL es un ácido graso esencial omega-6, que una vez absorbido en el cuerpo, es un precursor esencial en la síntesis de otro AG llamado AA que, a su vez, es el precursor de una clase de mediadores lipídicos llamados eicosanoides que desempeñan un papel clave en la regulación de la respuesta inmunológica y la inflamación (Sheppe y Edelman, 2021). Las prostaglandinas son moléculas que pueden actuar como mediadores proinflamatorios o antiinflamatorios, dependiendo de las circunstancias, controlan la dilatación de los vasos sanguíneos, la permeabilidad vascular y la respuesta de las células inmunológicas. Algunas prostaglandinas promueven la inflamación para combatir infecciones, mientras que otras tienen efectos antiinflamatorios y ayudan a resolver la inflamación una vez que se ha eliminado el patógeno (Oyesola y Wojno, 2021).

2. Discusión

Las células inmunológicas, tanto del sistema innato como del adaptativo, presentan diferencias en su estructura y composición, lo que les permite cumplir funciones específicas en la defensa del organismo contra patógenos y enfermedades. La membrana celular, compuesta principalmente por fosfolípidos, desempeña múltiples funciones vitales, la composición de lípidos en la membrana celular, en especial los ácidos grasos, puede influir en estas funciones y, por lo tanto, en la capacidad del sistema inmunológico para responder eficazmente a las amenazas externas. Se destaca la relación entre los AG omega-3 y la regulación de la inflamación. Se reconoce su papel crucial en la modulación de la respuesta inflamatoria, mientras que los AG omega-6 pueden tener efectos tanto proinflamatorios como antiinflamatorios, dependiendo del equilibrio entre ellos en la dieta. Un desequilibrio en esta relación puede conducir a una respuesta inflamatoria excesiva, comprometiendo la función inmunológica.

La modificación de proteínas y la señalización celular también se ven afectadas por la composición de ácidos grasos en la membrana celular, lo que sugiere un papel crucial de los lípidos en la regulación de procesos celulares fundamentales para la respuesta inmunológica. Los AG omega-3, como el ALA, el EPA y el DHA, son importantes para mantener la fluidez adecuada de las membranas celulares, para regular la inflamación y modular la respuesta inmunológica. Su capacidad para influir en la actividad de diversas células inmunológicas y su efecto antioxidante los convierten en componentes esenciales para promover un sistema inmunológico saludable.

Por otro lado, el ácido linoleico, un ácido graso omega-6, contribuye a la función inmunológica al actuar como precursor de eicosanoides que regulan la inflamación y la respuesta inmunológica. Mantener un equilibrio entre los ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la dieta es fundamental para promover una respuesta inmune equilibrada y prevenir la inflamación crónica. La dieta mexicana, rica en tradiciones y sabores, ha sido un pilar cultural durante siglos; pero también conlleva riesgos para la salud debido a su contenido en grasas saturadas. Para mejorar la salud de la población y reducir el riesgo de complicaciones relacionadas con enfermedades crónicas, incluidas aquellas que pueden aumentar la gravedad de la COVID-19, se recomienda una dieta equilibrada que incluya fuentes ricas en AGPI.

3. Conclusiones

El sistema inmunológico es esencial para proteger al cuerpo contra enfermedades. La composición de AG en las membranas celulares desempeña un papel crucial en la regulación de la función celular, la comunicación intercelular y la respuesta inmunológica, además de influir en su fluidez y flexibilidad. Cuando no se consumen ácidos grasos esenciales, como los omega-3, necesarios para la formación de fosfolípidos en las membranas celulares, el cuerpo utiliza otros tipos de ácidos grasos disponibles en la dieta para mantener la integridad de las membranas. Esto puede incluir tanto ácidos grasos saturados como ácidos grasos monoinsaturados. Los lípidos se renuevan constantemente, lo que permite la incorporación gradual de omega-3 en lugar de otros lípidos menos deseables.

El consumo equilibrado de omega 6 y 3 puede mejorar la respuesta inmunológica, ya que compiten con ácidos grasos menos beneficiosos en la composición de las membranas celulares. Por lo tanto, la elección de los ácidos grasos en la dieta tiene un impacto significativo en la salud del sistema inmunológico y en la prevención de enfermedades cardiovasculares. Mantener un equilibrio adecuado entre omega-6 y omega-3 garantiza una composición saludable de los fosfolípidos en las membranas celulares. Un exceso de ácidos grasos saturados, por ejemplo, puede contribuir a la rigidez de las membranas y ocasionar problemas de salud. Incluir una dieta variada con fuentes de AGI, como pescado graso, nueces y semillas, contribuye a mantener la fluidez, flexibilidad y función adecuada de las membranas, además de estar asociado con beneficios para la salud celular. Esto también favorece la composición adecuada de fosfolípidos y el mantenimiento de una función inmunológica óptima. Promover el equilibrio en el consumo de AG omega-3 y omega-6 puede mejorar la salud de la población mexicana y reducir el riesgo de complicaciones relacionadas con enfermedades crónicas, incluidas aquellas que pueden agravar la COVID-19.

Referencias

- Agostoni, C., Risé, P. y Marangoni, F. (2013). Membrane composition and cellular responses to fatty acid intakes and factors explaining the variation in response. *Nestle Nutrition Institute workshop series*, 77, 111-120. <https://doi.org/10.1159/000351393>
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. y Walter, P. (2002). *Molecular Biology of the Cell* (4ta. ed.). Garland Science. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26871/>
- Allam-Ndoul, B., Guénard, F., Barbier, O. y Vohl, M.C. (2016). Effect of n-3 fatty acids on the expression of inflammatory genes in THP-1 macrophages. *Lipids in Health and Disease*, 15(69), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s12944-016-0241-4>
- Balta, I., Stef, L., Pet, I., Iancu, T., Stef, D. y Corcionivoschi, N. (2021). Essential Fatty Acids as Biomedicines in Cardiac Health. *Biomedicines*, 9(10), 14-66. DOI: 10.3390/biomedicines9101466
- Batta, G., Soltész, L., Kovács, T., Bozó, T., Mészár, Z., Kellermayer, M. et al. (2018). Alterations in the properties of the cell membrane due to glycosphingolipid accumulation in a model of Gaucher disease. *Scientific Reports*, 8(1), 157. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18405-8>
- Bland, J. S. (2022). Therapeutic Use of Omega-3 Fatty Acids for Immune Disorders In Search of the Ideal Omega-3 Supplement. *Integrative Medicine*, 21(5), 14-18.
- Calder, P. C. (2015). Functional Roles of Fatty Acids and Their Effects on Human Health. *JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 39(1 Suppl), 18S-32S. <https://doi.org/10.1177/0148607115595980>
- Carta, G., Murru, E., Banni, S. y Manca, C. (2017). Palmitic Acid: Physiological Role, Metabolism and Nutritional Implications. *Front Physiol*, 8, 902. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00902>
- Christou, C. N., Tiblom, Y., Lampa, E., Risérus, U. y Laurell, G. (2021). Circulating fatty acids in patients with head and neck cancer after treatment: an explorative study with a one-year perspective. *Acta Oto-Laryngologica*, 141(9), 878-884. <https://doi.org/10.1080/00016489.2021.1959950>
- Cooper, G. M. (2000). *Transport of Small Molecules. A Molecular Approach* (2da ed.). Sinauer Associates. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK9847/>
- De Carvalho, C. C. C. R. y Caramujo, M. J. (2018). The Various Roles of Fatty Acids. *Molecules*, 23(10), 25-83. <https://doi.org/10.3390/molecules23102583>
- Degreif, D., Cucu, B., Budin, I., Thiel, G. y Bertl, A. (2019). Lipid determinants of endocytosis and exocytosis in budding yeast. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1864(7), 1005-1016. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2019.03.007>

- De Jong, A. J., Kloppenburg, M., Toes, R. E. y Ioan-Facsinay, A. (2014). Fatty acids, lipid mediators, and T-cell function. *Frontiers in Immunology*, 5, 483. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00483>
- Dyall, S. C. (2015). Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7(52), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00052>
- Escribá, P. V., González-Ros, J. M., Goñi, F. M., Kinnunen, P. K., Vigh, L., Sánchez-Magraner, L. et al. (2008). Membranes: a meeting point for lipids, proteins and therapies. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 12(3), 829-875. DOI: 10.1111/j.1582-4934.2008.00281.x.
- Farag, M. A. y Gad, M. Z. (2022). Omega-9 fatty acids: potential roles in inflammation and cancer management. *Journal, Genetic Engineering & Biotechnology*, 20(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00329-0>
- Frallicciardi, J., Melcr, J., Siginou, P. Marrink, S. J. y Poolman, B. (2022). El espesor de la membrana, la fase lipídica y el tipo de esteroles son factores determinantes en la permeabilidad de las membranas a pequeños solutos. *Nature Communication*, 13(1605), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29272-x>
- Froyen, E. y Burns-Whitmore, B. (2020). The Effects of Linoleic Acid Consumption on Lipid Risk Markers for Cardiovascular Disease in Healthy Individuals: A Review of Human Intervention Trials. *Nutrients*, 12(8), 23-29. <https://doi.org/10.3390/nut12082329>
- Gerster, H. (1998). Can adults adequately convert alpha-linolenic acid (18:3n-3) to eicosapentaenoic acid (20:5n-3) and docosahexaenoic acid (22:6n-3)? International journal for vitamin and nutrition research. Internationale Zeitschrift für Vitamin- und Ernährungsforschung. *Journal International de Vitaminologie et de Nutrition*, 68(3), 159-173.
- Gimenez, M. S., Oliveros, L. B. y Gomez, N. N. (2011). Nutritional deficiencies and phospholipid metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(4), 2408-2433. <https://doi.org/10.3390/ijms12042408>
- Gutiérrez, S., Svahn, S. L. y Johansson, M. E. (2019). Effects of Omega-3 Fatty Acids on Immune Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20), 5028. <https://doi.org/10.3390/ijms20205028>
- Harvey, K. A., Walker, C. L., Xu, Z., Whitley, P., Pavlina, T. M., Hise, M. et al. (2010). Oleic acid inhibits stearic acid-induced inhibition of cell growth and pro-inflammatory responses in human aortic endothelial cells. *Journal of Lipid Research*, 51(12), 3470-3480. <https://doi.org/10.1194/jlr.M010371>
- Heshmati, J., Morvaridzadeh, M., Maroufizadeh, S., Akbari, A., Yavari, M., Amirinejad, A. et al. (2019). Omega-3 fatty acids supplementation and oxidative stress parameters:

- A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Pharmacological Research*, 149, 104462. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2019.104462>
- Horn, A. y Jaiswal, J. K. (2019). Structural and signaling role of lipids in plasma membrane repair. *Current Topics in Membranes*, 84, 67-98. <https://doi.org/10.1016/bs.ctm.2019.07.001>
- Ibarguren, M., López, D. J. y Escribá, P. V. (2014). The effect of natural and synthetic fatty acids on membrane structure, microdomain organization, cellular functions and human health. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1838(6), 1518-1528, <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2013.12.021>
- Jiang, X. C. y Li, Z. (2022). Sphingolipids and Cholesterol. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 13(72), 1-14. DOI: 10.1007/978-981-19-0394-6_1.
- Khalili, A. A. y Ahmad, M. R. (2015). A Review of Cell Adhesion Studies for Biomedical and Biological Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 18149-18184. <https://doi.org/10.3390/ijms160818149>
- Koyiloth, M. y Gummadi, S. N. (2022). Regulation and functions of membrane lipids: Insights from *Caenorhabditis elegans*. *BBA Advances*, (2), 100043. <https://doi.org/10.1016/j.bbadv.2022.100043>
- Kris-Etherton, P. M., Griel, A. E., Psota, T. L., Gebauer, S. K., Zhang, J. y Etherton, T. D. (2005). Dietary stearic acid and risk of cardiovascular disease: intake, sources, digestion, and absorption. *Lipids*, 40(12), 1193-1200. <https://doi.org/10.1007/s11745-005-1485-y>
- Kumar, A. A., Koirala, S., Karna, A., Umar, M. y Pradhan, T. S. (2023). Immunomodulation and enhancing the immunity: Unveiling the potential of designer diets. *Future Foods*, 8(diciembre), 100246. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100246>
- Kumar, R. S. y Keum, Y. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance. A review. *Life Science*, 203(junio), 255-267. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049>
- Li, X., Shen, L., Xu, Z., Liu, W., Li, A. y Xu, J. (2022). Protein Palmitoylation Modification During Viral Infection and Detection Methods of Palmitoylated Proteins. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, 821596. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.821596>
- Marcelino, G., Hiane, P. A., Freitas, K. C., Santana, L. F., Pott, A., Donadon, J. R. et al. (2019). Effects of Olive Oil and Its Minor Components on Cardiovascular Diseases, Inflammation, and Gut Microbiota. *Nutrients*, 11(8), 1826. DOI: 10.3390/nul1081826.
- Maskrey, B. H., Megson, I. L., Rossi, A. G. y Whitfield, P. D. (2013). Emerging importance of omega-3 fatty acids in the innate immune response: molecular mechanisms and

- lipidomic strategies for their analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(8), 1390-1400. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200723>
- Merrill, A. H. y Sandhoff, K. (2002). Sphingolipids: metabolism and cell signaling. En D. E. Vance y J. E. Vance. (Eds.), *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes* (pp. 373-407). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0167-7306\(02\)36016-2](https://doi.org/10.1016/S0167-7306(02)36016-2)
- Morita, S. Y. e Ikeda, Y. (2022). Regulation of membrane phospholipid biosynthesis in mammalian cells. *Biochemical Pharmacology*, 206, 115296. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2022.115296>
- Mu, F., Huo, H., Wang, M. y Wang, F. (2023). Omega-3 fatty acid supplements and recurrent miscarriage: A perspective on potential mechanisms and clinical evidence. *Food Science & Nutrition*, 11(8), 4460-4471. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3464>
- Munteanu, C. y Schwartz, B. (2022). The relationship between nutrition and the immune system. *Frontiers in Nutrition*, 9(diciembre), 1082500. DOI: 10.3389/fnut.2022.1082500.
- Murray, P. J. y Wynn, T. A. (2011). Protective and pathogenic functions of macrophage subsets. *Nature Reviews. Immunology*, 11(11), 723-737. <https://doi.org/10.1038/nri3073>
- Natividad, Ch. (2023). *Fundamental of the immune system*. Delve Publishing.
- Nicholson, L. B. (2016). The immune system. *Essays Biochem*, 60(3), 275-301. DOI: 10.1042/EBC20160017.
- Noor, S., Piscopo, S. y Gasmi, A. (2021). Nutrients Interaction with the Immune System. *Archives of Razi Institute*, 76(6), 1579-1588. DOI: 10.22092/ari.2021.356098.1775.
- Oyesola, O. O. y Tait Wojno, E. D. (2021). Prostaglandin regulation of type 2 inflammation: From basic biology to therapeutic interventions. *European Journal of Immunology*, 51(10), 2399-2416. <https://doi.org/10.1002/eji.202048909>
- Parekh, D. B., Ziegler, W. y Parker, P. J. (2000). Multiple pathways control protein kinase C phosphorylation. *The EMBO Journal*, 19(4), 496-503. DOI: 10.1093/emboj/19.4.496.
- Patterson, E., Wall, R., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P. y Stanton, C. (2012). Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated Fatty acids. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012(1), 539426. <https://doi.org/10.1155/2012/539426>
- Poggioli, R., Hirani, K., Jogani, V. G. y Ricordi, C. (2023). Modulation of inflammation and immunity by omega-3 fatty acids: a possible role for prevention and to halt disease progression in autoimmune, viral, and age-related disorders. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 27(15), 7380-7400. https://doi.org/10.26355/eurrev_202308_33310
- Radzikowska, U., Rinaldi, A. O., Çelebi Sözen, Z., Karaguzel, D., Wojcik, M., Cypriak, K. et al. (2019). The Influence of Dietary Fatty Acids on Immune Responses. *Nutrients*, 11(12), 2990. <https://doi.org/10.3390/nu11122990>.

- Rosa Neto, J. C., Calder, P. C., Curi, R., Newsholme, P., Sethi, J. K. y Silveira, L. S. (2021). The Immunometabolic Roles of Various Fatty Acids in Macrophages and Lymphocytes. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(16), 8460. <https://doi.org/10.3390/ijms22168460>
- Saunders, J. y Smith, T. (2010). Malnutrition: causes and consequences. *Clinical Medicine*, 10(6), 624-627. <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.10-6-624>
- Schumann, J. (2016). It is all about fluidity: Fatty acids and macrophage phagocytosis. *European Journal of Pharmacology*, 785, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2015.04.057>
- Sherratt, S., Juliano, R. A., Coplan, C., Bhatt, D. L., Libby, P. y Preston, M. R. (2021). EPA and DHA containing phospholipids have contrasting effects on membrane structure. *Journal of Lipid Research*, 62, 100106. <https://doi.org/10.1016/j.jlr.2021.100106>
- Sheppe, A. E. F. y Edelmann, M. J. (2021). Roles of Eicosanoids in Regulating Inflammation and Neutrophil Migration as an Innate Host Response to Bacterial Infections. *Infection and Immunity*, 89(8), e0009521. <https://doi.org/10.1128/IAI.00095-21>
- Siri-Tarino, P. W., Chiu, S., Bergeron, N. y Krauss, R. M. (2015). Saturated Fats Versus Polyunsaturated Fats Versus Carbohydrates for Cardiovascular Disease Prevention and Treatment. *Annual Review of Nutrition*, 35, 517-543. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071714-034449>
- Sumida, C., Graber, R. y Nunez, E. (1993). Role of fatty acids in signal transduction: modulators and messengers. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*, 48(1), 117-122. [https://doi.org/10.1016/0952-3278\(93\)90019-s](https://doi.org/10.1016/0952-3278(93)90019-s)
- Surette, M. E. (2008). The science behind dietary omega-3 fatty acids. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal*, 178(2), 177-180. <https://doi.org/10.1503/cmaj.071356>
- Swanson, D., Bloque, R. y Mousa, S. A. (2012). Omega-3 Fatty Acids EPA and DHA: Health Benefits Throughout Life. *Advances in Nutrition*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>
- Tallima, H. y El Ridi, R. (2017). Arachidonic acid: Physiological roles and potential health benefits. A review. *Journal of Advanced Research*, 11, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.11.004>
- Torres, M., Parets, S., Fernández-Díaz, J., Beteta-Göbel, R., Rodríguez-Lorca, R., Román, R. et al. (2021). Lipids in Pathophysiology and Development of the Membrane Lipid Therapy: New Bioactive Lipids. *Membranes*, 11(12), 919. <https://doi.org/10.3390/membranes11120919>
- Valenzuela, B., Tapia, R., González, G. y Valenzuela, A. (2011). Ácidos grasos omega-3 (epa y dha) y su aplicación en diversas situaciones clínicas. *Revista Chilena de Nutrición*, 38(3), 356-367. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182011000300011>

- Whelan, J. (2008). The health implications of changing linoleic acid intakes. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*, 79(3-5), 165-167. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2008.09.013>
- Williams-Bey, Y., Boularan, C., Vural, A., Huang, N. N., Hwang, I. Y., Shan-Shi, C. et al. (2014). Omega-3 free fatty acids suppress macrophage inflammasome activation by inhibiting NF- κ B activation and enhancing autophagy. *PLoS One*, 9(6), e97957. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097957>
- Yamaguchi, A., Botta, E. y Holinstat, M. (2022). Eicosanoids in inflammation in the blood and the vessel. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 997403. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.997403>
- Yuan, H. X., Xiong, Y. y Guan, K. L. (2013). Nutrient sensing, metabolism, and cell growth control. *Molecular Cell*, 49(3), 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2013.01.019>
- Zeng, H. y Chi, H. (2013). The interplay between regulatory T cells and metabolism in immune regulation. *Oncoimmunology*, 2(11), e26586. <https://doi.org/10.4161/onci.26586>
- Zivkovic, A. M., Telis, N., German, J. B. y Hammock, B. D. (2011). Dietary omega-3 fatty acids aid in the modulation of inflammation and metabolic health. *California Agriculture*, 65(3), 106-111. <https://doi.org/10.3733/ca.v065n03p106>

CAPÍTULO 4.

La relación de los ω -6/ ω -3, en el síndrome de dificultad respiratoria aguda

Ana Fernanda Flores Torres¹

Rocío Margarita Uresti Marín¹

Juan Francisco Castañón Rodríguez^{1*}

Resumen

La infección por SARS-CoV-2 puede desencadenar una respuesta inflamatoria en los pulmones, dando lugar a complicaciones graves como el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA). Algunos pacientes experimentan alteraciones inmunológicas, como el síndrome de liberación de citoquinas, que conduce a una inflamación pulmonar excesiva y descontrolada, conocida como tormenta de citoquinas. Los ácidos grasos ω -6 y ω -3 desempeñan roles específicos en el proceso inflamatorio. Los ω -6 están asociados con la inflamación, los ω -3 poseen propiedades antiinflamatorias. El objetivo de esta investigación es comprender mejor el proceso inflamatorio pulmonar causado por el SARS-CoV-2, así como identificar los factores que contribuyen al desequilibrio de estos ácidos grasos y determinar la proporción adecuada entre ellos. Se utilizó un diseño de investigación documental correlacional para analizar la relación entre la infección por SARS-CoV-2, la inflamación pulmonar y los ácidos grasos ω -6 y ω -3. Varios estudios han demostrado que un equilibrio ω -6/ ω -3 de 1:1 resulta en un proceso inflamatorio normal, mientras que un predominio de ω -6, especialmente en pacientes con comorbilidades, aumenta el riesgo de desarrollar una tormenta de citoquinas. Por lo tanto, es fundamental mantener un consumo adecuado de ácidos grasos ω -6 y ω -3 para reducir la inflamación pulmonar.

Palabras clave: omega 6, omega 3, inflamación pulmonar, COVID-19.

1. Introducción

La infección por SARS-CoV-2 muestra una gama de severidad en la enfermedad que sigue un patrón bifásico característico. En la primera fase, la replicación viral induce una respuesta inmune inicial que varía entre individuos. Durante la segunda

¹ UATSCDH Universidad Autónoma de Tamaulipas.

*jfcastanon@docentes.uat.edu.mx

fase, típicamente entre los días 6 y 10 después del inicio de los síntomas, se observa un desarrollo excesivo de inflamación en el 20 % de los pacientes (Townsend et al., 2022), la cual está marcada por la infiltración de diversas células inflamatorias, siendo más prominente en pacientes con formas graves de COVID-19. Estos hallazgos subrayan la complejidad del curso clínico de la enfermedad y la importancia de comprender y manejar la respuesta inmunitaria y la inflamación asociada (Xu et al., 2020).

Uno de los descubrimientos médicos más importantes de las últimas dos décadas, es que el sistema inmunitario y los procesos inflamatorios están involucrados en una amplia variedad de problemas de salud física y mental que dominan la morbilidad y la mortalidad actuales en todo el mundo (Furman et al., 2019). En casos críticos de pacientes con COVID-19, se encontró que la deficiencia de los ácidos grasos polinsaturados (AGPI), en el equilibrio de omega-3 (ω -3) y omega-6 (ω -6), aumentó la mortalidad en pacientes con la infección. Por lo tanto, un enfoque para prevenir la gravedad de la infección es minimizar la liberación de citoquinas inflamatorias (Mazidimoradi et al., 2022). Los componentes dietéticos pueden afectar la inflamación directamente; cuando persiste el estímulo que dispara el proceso, la inflamación puede hacerse crónica y contribuir a la patogénesis de enfermedades como la diabetes *mellitus* tipo 2 y la hipertensión. En estas enfermedades, los ácidos grasos saturados, lipoproteínas y agregados proteicos disparan la respuesta inmunitaria y producen inflamación, que al no poder ser fácilmente eliminados, perpetúan la respuesta y contribuyen con la persistencia de la enfermedad (García-Casal y Pons-García, 2014). Estudios recientes han revelado que los ω -3 son importantes mediadores de la inflamación, capaces de amplificar las respuestas antiinflamatorias, bloquear las reacciones hiperinflamatorias y reducir la incidencia del síndrome de respuesta inflamatoria sistémica (SIRS), así como las complicaciones de la infección (Mazidimoradi et al., 2022).

El virus SARS-CoV-2 ha causado un brote mundial y es un importante problema de salud pública. Si bien se produce un espectro de manifestaciones clínicas y la mayoría de las personas infectadas tienen síntomas leves a moderados, una pequeña proporción desarrolla síntomas graves, a menudo acompañadas de insuficiencia respiratoria y multiorgánicas que requieren cuidados intensivos (Zaim et al., 2020). El virus afecta las vías respiratorias y suele causar neumonía en la mayoría de los pacientes, y en el 15 % de los casos se desencadena el SDRA debido a niveles elevados de citoquinas proinflamatorias, conocido como tormenta de citoquinas. La erradicación completa del virus es prácticamente imposible y no existe un tratamiento específico para los pacientes críticos. No obstante, suprimir la respuesta inflamatoria es la estrategia más efectiva. La tormenta de

citoquinas se caracteriza por la producción excesiva y descontrolada de marcadores proinflamatorios, tanto a nivel local como sistémico. El equilibrio entre los AGPI del tipo $\omega 6$ y $\omega 3$ desempeña un papel crucial en la resolución de la inflamación pulmonar (Oliveira et al., 2010). Hasta el momento, no existe un tratamiento efectivo contra la infección con SARS-CoV-2, por lo que se buscan fuentes dietéticas que ayuden a disminuir los síntomas graves de la infección.

El virus puede provocar un estado de hiperinflamación descontrolada (tormenta de citoquinas), que deriva en complicaciones multiorgánicas graves, llegando a causar la muerte. Aunque la mayoría de las personas infectadas por el virus experimentan síntomas leves o moderados, existen ciertos factores de riesgo y condiciones subyacentes que aumentan la probabilidad de desarrollar una respuesta inflamatoria descontrolada y complicaciones graves como edad avanzada, enfermedades crónicas, sistema inmunológico comprometido, obesidad y factores genéticos. La alimentación juega un papel primordial en la prevención o disminución de los efectos producidos por el virus, ya que tener una dieta adecuada contribuye a controlar las comorbilidades presentes, reducir el estrés y disminuir los procesos inflamatorios. Dentro del proceso inflamatorio que los pacientes de SARS-CoV-2 desarrollan, participan los mediadores lipídicos $\omega 6$ y $\omega 3$ que se encuentran en la membrana celular; cuando se encuentran en mayor proporción mediadores proinflamatorios provocan una respuesta inflamatoria crónica que empeora la situación. En este capítulo se describirá el papel de los $\omega 6$ y $\omega 3$ en los procesos inflamatorios y cómo estos pueden ayudar a controlar o disminuir la inflamación.

1.1. El proceso inflamatorio de los pulmones por infección con SARS-CoV-2

1.1.1. El SARS-CoV-2 y el SDRA

Algunas personas infectadas con el SARS-CoV-2 no presentan síntomas, mientras que otras experimentan fiebre intensa, neumonía e incluso el SDRA. Algunos pacientes con COVID-19 también presentan alteraciones inmunitarias, como el síndrome de liberación de citoquinas (SLC) y el síndrome de activación de macrófagos (SAM). Al comienzo de la pandemia, se observó que la morbilidad y la mortalidad estaban asociadas a una respuesta inflamatoria sistémica drástica causada por este virus (Cheon y Koo, 2021). El virus se propaga e invade a través de la mucosa respiratoria, desencadenando una serie de respuestas inmunitarias que provocan cambios en componentes inmunitarios, como los leucocitos y linfocitos de sangre periférica (Lin et al., 2020). La infección también causa daño tisular, lo que activa la respuesta al estrés del retículo endoplásmico y genera tormentas de citoquinas proinflamatorias. Las células inmunitarias innatas, incluidos los

granulocitos y los monocitos/macrófagos, se reclutan en los sitios dañados durante las lesiones o infecciones tisulares y liberan lípidos bioactivos (Hammock et al., 2020). La infección se asocia con diversos procesos fisiopatológicos que activan una amplia gama de biomoléculas, especialmente del sistema inmunológico. En los casos más graves, esto se debe a la hiperproducción de citoquinas y eicosanoides proinflamatorios en el tejido pulmonar (Costela-Ruiz et al., 2020).

El SARS-CoV-2 provoca muerte celular masiva y la acumulación de desechos celulares, lo que desencadena una “tormenta de citoquinas” derivada de los macrófagos. Los eicosanoides pueden tener efectos proinflamatorios (ω -6) o antiinflamatorios (ω -3). Los eicosanoides (ω -6) inducen inflamación y estimulan la producción de citoquinas proinflamatorias. A diferencia de los agentes antiinflamatorios clásicos, los eicosanoides antiinflamatorios pueden finalizar la respuesta inflamatoria al promover la eliminación de desechos celulares y contrarrestar la liberación de citoquinas-quimiocinas proinflamatorias (Panigrahy et al., 2020).

El SDRA es una causa común de insuficiencia respiratoria aguda y la complicación más frecuente en pacientes con COVID-19 en estado grave o crítico. La intubación traqueal, la ventilación mecánica protectora (VM) y la oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) son los enfoques primarios para su tratamiento (Lin et al., 2020). El SDRA provoca inflamación sistémica y puede llevar a insuficiencia orgánica múltiple, una característica común en individuos infectados con SARS-CoV-2 (Weill et al., 2020). Los pacientes de edad avanzada y aquellos con afecciones subyacentes (como hipertensión, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes o enfermedad cardiovascular) presentan un mayor riesgo de progresión rápida al SRDA, *shock* séptico, acidosis metabólica, disfunción de la coagulación, arritmias, daño renal, insuficiencia cardíaca, disfunción hepática e infecciones secundarias, complicaciones que a menudo resultan mortales (Costela-Ruiz et al., 2020). En el SDRA, la regulación a la baja de la inflamación sistémica es esencial para restaurar la homeostasis, disminuir la morbilidad y mejorar la supervivencia. El uso de agentes antiinflamatorios puede ser beneficioso en el tratamiento de los pacientes con este padecimiento (Meduri et al., 2009).

1.1.2. El proceso inflamatorio de los pulmones por SARS-CoV-2

La inflamación es un proceso caracterizado por la activación de células inmunes y no inmunes que protegen al huésped de bacterias, virus, toxinas e infecciones, eliminando patógenos y promoviendo la reparación y recuperación de tejidos. El objetivo principal de la respuesta inflamatoria es mantener la homeostasis y eliminar la causa del desequilibrio. En la inflamación están involucradas muchos

tipos de células del sistema inmunitario que liberan diversas sustancias, conocidas como mediadores inflamatorios. Una de sus funciones es facilitar que las células del sistema inmune salgan de los vasos sanguíneos pequeños, de modo que puedan ingresar al tejido afectado (Furman et al., 2019). La inflamación crónica es fundamental en el deterioro pulmonar de los pacientes, y en estudios previos se ha demostrado que estos presentan con frecuencia niveles anormales de ácidos grasos esenciales (AGE) en suero, plasma y membranas de células sanguíneas, así como en muestras histológicas, y que las terapias para su normalización podrían reducir la inflamación crónica. Clínicamente, la inflamación aguda se observa en la neumonía y el SDRA (Oliveira et al., 2010).

1.1.3. El proceso de infección con el SARS-CoV-2 hasta la inflamación pulmonar

El proceso inflamatorio debido a la infección pulmonar por SARS-CoV-2 puede resumirse en siete etapas:

1) *Ingreso del virus*: el SARS-CoV-2 ingresa al cuerpo a través de las vías respiratorias superiores, como la boca y la nariz. Luego, se adhiere a las células epiteliales que recubren las vías respiratorias y utiliza una proteína llamada “spike” para unirse al receptor ACE2 en la superficie de las células (Fernández-Pérez et al., 2021).

2) *Replicación viral*: una vez que ha ingresado a las células epiteliales de las vías respiratorias, comienza a replicarse. Esto lleva a la liberación de una gran cantidad de nuevas partículas virales (Wang et al., 2020).

3) *Respuesta inflamatoria inicial*: su presencia desencadena una respuesta inflamatoria en los pulmones. Las células infectadas por el virus liberan moléculas señalizadoras llamadas citoquinas y quimiocinas. Estas sustancias atraen a las células del sistema inmunológico, como los neutrófilos y los macrófagos, al sitio de la infección (Dennis y Norris, 2015).

4) *Infiltración de células inflamatorias*: las células inflamatorias, como los neutrófilos y los macrófagos, se infiltran en los pulmones para combatir la infección. Estas células liberan más citoquinas y quimiocinas, amplificando la respuesta inflamatoria (Cao et al., 2022).

5) *Respuesta inmune adaptativa*: simultáneamente, se activa la respuesta inmune adaptativa. Los linfocitos T y B son reclutados y activados para combatir la infección viral de manera más específica. Los linfocitos T citotóxicos ayudan a eliminar las células infectadas por el virus, mientras que los linfocitos B producen anticuerpos contra el SARS-CoV-2 (Primorac et al., 2022).

6) *Daño pulmonar y respuesta inflamatoria excesiva*: en algunos casos, la respuesta inflamatoria puede volverse excesiva y descontrolada, provocando una tormenta de citoquinas. Esta respuesta puede dañar los tejidos pulmonares y causar dificultad respiratoria severa (Zaid et al., 2021).

7) *Formación de exudado y consolidación pulmonar*: la inflamación y la respuesta inmunológica desencadenada por el virus pueden provocar la acumulación de líquido, células inflamatorias y otros componentes en los alvéolos pulmonares. Esto da lugar a la formación de un exudado y puede conducir a la consolidación pulmonar, donde los alvéolos se llenan de material inflamatorio y líquido (Wang et al., 2022).

1.2. Causas de la inflamación de los pulmones durante una infección con el SARS-CoV-2

La inflamación de los pulmones durante una infección con el SARS-CoV-2 puede ser provocada por varias causas:

a) *Respuesta inmunológica excesiva*: el sistema inmunológico puede tener una respuesta inflamatoria excesiva ante la presencia del virus, esto se conoce como respuesta inmunitaria hiperactiva o tormenta de citoquinas. La liberación descontrolada de citoquinas, que son moléculas de señalización del sistema inmunológico, conduce a una respuesta inflamatoria sistémica y causar daño en los pulmones y otros órganos (Zhu et al., 2022).

b) *Daño directo del virus*: el SARS-CoV-2 puede dañar las células pulmonares, especialmente aquellas que expresan la enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2), que es el receptor utilizado por el virus para ingresar a las células. Esta interacción directa puede causar daño celular y desencadenar una respuesta inflamatoria localizada en los pulmones (Beyerstedt et al., 2021).

c) *Disfunción endotelial y coagulación intravascular*: el virus puede afectar la función del endotelio, que es el revestimiento interno de los vasos sanguíneos. Esto puede llevar a una disfunción endotelial y a la activación del sistema de coagulación intravascular, lo que provoca la formación de coágulos sanguíneos en los pulmones y contribuye a la inflamación y el daño tisular (Otifi y Adiga, 2022).

d) *Respuesta inflamatoria exacerbada por comorbilidades*: las personas con ciertas comorbilidades, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y enfermedades pulmonares crónicas, tienen un mayor riesgo de desarrollar una respuesta inflamatoria exacerbada. Estas afecciones subyacentes pueden alterar la respuesta inmunológica y aumentar la gravedad de la inflamación pulmonar durante la infección (Kruglikov et al., 2020).

La respuesta inflamatoria en los pulmones puede variar en cada individuo y estos mecanismos no son exhaustivos. La investigación sobre COVID-19 sigue en curso, y se están realizando esfuerzos continuos para comprender mejor los mecanismos subyacentes de la inflamación pulmonar durante la infección por SARS-CoV-2.

1.3. Factores que ocasiona el desequilibrio de los $\omega 6/\omega 3$ en el proceso inflamatorio

Los $\omega 6$ y $\omega 3$ se consideran esenciales para el organismo, lo que significa que no pueden ser sintetizados internamente y deben obtenerse a través de la dieta, ambos desempeñan funciones esenciales en el organismo. Los $\omega 6$ están involucrados en procesos inflamatorios, en la formación de membranas celulares y la regulación del metabolismo, mientras que los $\omega 3$ tienen efectos antiinflamatorios. Son importantes para la función cerebral, la salud cardiovascular y el desarrollo y funcionamiento del sistema nervioso (Saini y Keum, 2018).

Tabla 1. Ácidos grasos

Ácidos grasos $\omega 6$	
Ácido linoleico (LA)	Es el principal $\omega 6$ y se encuentra en fuentes vegetales como los aceites de girasol, cártamo, maíz y soja.
Ácido araquidónico (AA)	Se produce a partir del ácido linoleico y se encuentra en alimentos de origen animal como la carne, los huevos y los lácteos.
Ácidos grasos $\omega 3$	
Ácido alfa-linolénico (ALA)	Es el principal $\omega 3$ y se encuentra en fuentes vegetales como las semillas de lino, las nueces y los aceites de linaza y de chía.
Ácido eicosapentaenoico (EPA)	Se encuentra principalmente en pescados grasos como el salmón, el atún y la caballa.
Ácido docosahexaenoico (DHA)	También se encuentra en pescados grasos y es especialmente abundante en el aceite de hígado de bacalao y en las algas marinas.

Fuente: elaboración propia.

En las células humanas, los $\omega 6$ de cadena larga se sintetizan a partir del precursor LA, y todos los $\omega 3$ de cadena larga se sintetizan a partir del precursor ALA e influyen en la modulación de las funciones inmunitarias y en procesos inflamatorios (Feliu et al., 2021). Cuando los humanos ingieren pescado o aceite de pescado, reemplazan parcialmente a los $\omega 6$, especialmente AA, en las membranas de las células, como las plaquetas, eritrocitos, neutrófilos, monocitos y células hepáticas (Simopoulos, 2010). El cuerpo utiliza los $\omega 3$ para resolver y reducir la inflamación, mientras

que los ω -6 se utilizan para aumentar la inflamación, la vía de los eicosanoides se considera como la respuesta inmunitaria inflamatoria primaria durante la infección (Rahman et al., 2021). El tipo y el grado de respuesta dependen de la naturaleza del desencadenante inflamatorio y de su extensión. El perfil lipídico de las membranas de las células inmunitarias va a condicionar la producción de mediadores químicos, determinando así la intensidad de la respuesta (Duffney et al., 2018).

Los avances en los conocimientos sobre las propiedades metabólicas, inmunomoduladoras e inflamatorias de los AGPI han permitido el desarrollo de nuevas fórmulas lipídicas útiles para conseguir una mejor evolución de las patologías de base inflamatoria. Estos beneficios han llevado a considerarlos como inmunonutrientes, principalmente a los ω -3 (García et al., 2006). Varios estudios han demostrado que los ω -3 están presentes en los fosfolípidos de la membrana celular de los neutrófilos. Cuando estos secretan citoquinas y quimiocinas, mejoran la función de los macrófagos y aumentan la capacidad fagocítica, mejorando así la función inmunitaria (Gutiérrez et al., 2019). El EPA y DHA pueden reducir las respuestas inflamatorias al actuar sobre las células inflamatorias a través de los receptores de membrana (Oh et al., 2010). Los ω -3 interactúan en diferentes etapas de la infección con SARS-CoV-2, especialmente en la entrada y replicación del virus, por lo tanto, su contenido es importante en el estado inflamatorio de los tejidos y la respuesta inmunitaria general (Calder et al., 2020).

En la inflamación pulmonar, los ω -3 pueden inhibir la generación de marcadores inflamatorios (Vahidf y Rahmani, 2021). Las tormentas de citoquinas y las lesiones pulmonares en personas infectadas con SARS-CoV-2 suelen ser el resultado de la activación de NF- κ B, que se puede inhibir al aumentar la ingesta de ω -3 y reducir los ω -6, y esto puede ser una buena estrategia para combatir las tormentas de citoquinas inflamatorias en los pulmones y la dificultad respiratoria aguda en pacientes infectados. Una proporción más alta de ω -6 también se asocia con una función más baja de las células inmunitarias, lo que puede resultar en una inmunidad más baja (DiNicolantonio y O'Keefe, 2020). Cuando se consume una dieta alta en ω -6, en comparación con el ω -3, puede haber un desequilibrio en su proporción. Se ha encontrado que el contenido de EPA/DHA de las células inmunitarias es importante para prevenir la conversión del sistema inmunitario a un fenotipo inflamatorio y también para revertir las células inmunitarias inflamatorias crónicas a su estado original (DiNicolantonio y O'Keefe, 2020).

El desequilibrio en el consumo de ω -6/ ω -3 puede tener efectos inflamatorios que desencadenan varias respuestas que se mencionan a continuación:

a) *Aumento de la producción de mediadores proinflamatorios*: un aumento en la disponibilidad de ácidos grasos ω -6 en la membrana celular puede favorecer la

producción de eicosanoides proinflamatorios y mantener un estado inflamatorio persistente (Innes y Calder, 2018).

b) *Disfunción de la barrera celular*: los ω -3, como EPA y DHA, son esenciales para la estructura y función adecuadas de las membranas celulares. Una proporción equilibrada de ω -6/ ω -3 mantiene la fluidez y la integridad de la membrana celular, lo que es crucial para el funcionamiento adecuado de la barrera celular. Un exceso de los ω -6 puede alterar la estructura de la membrana y comprometer su función, lo que afecta la permeabilidad, la comunicación celular y la capacidad de proteger la célula contra el estrés y los agentes patógenos, así como a un mayor riesgo de desarrollar enfermedades inflamatorias crónicas, como enfermedades: cardiovasculares, metabólicas, autoinmunes y ciertos tipos de cáncer (Rogerio et al., 2020).

c) *Disminución de la producción de mediadores antiinflamatorios*: los AGPI ω -3 son convertidos en mediadores antiinflamatorios, como las resolvinas y protectinas. Una dieta alta en ω -6 y baja en ω -3 puede disminuir su producción, lo que puede limitar la capacidad del cuerpo para controlar la inflamación. Los ω -6 y ω -3 requieren las mismas enzimas para su síntesis. La proporción de estos lípidos está determinada por su aporte nutricional. La capacidad de producir derivados está limitada por la ineficiencia de las enzimas $\Delta 5$ y $\Delta 6$ desaturasas. Como resultado, solo se convierte entre el 5 % y el 10 % del ALA en EPA y el 1 % en DHA (Huerta-Yépez et al., 2016).

d) *Cambios en la expresión génica*: existen varios genes relacionados con la inflamación, y su expresión puede ser regulada por diferentes factores, incluyendo la dieta y los ácidos grasos consumidos. El desequilibrio entre ω -6 y ω -3 puede influir en la expresión de genes relacionados con la inflamación (Weaver et al., 2009). Algunos estudios sugieren que una dieta alta en ω -6 y baja en ω -3 puede activar genes que promueven la inflamación y suprimir los que tienen efectos antiinflamatorios. Algunos de los genes más conocidos y estudiados en relación con la inflamación:

Tabla 2. Genes proinflamatorios y antiinflamatorios

Genes proinflamatorios	
TNF- α (Factor de necrosis tumoral alfa);	Juega un papel clave en la regulación de la inflamación.
IL-6 (Interleucina-6)	Estimula la respuesta inflamatoria y puede contribuir a la inflamación crónica.
IL-1 β (Interleucina-1 beta)	Promueve la inflamación y participa en respuestas inmunes.
COX-2 (Ciclooxigenasa-2);	Produce prostaglandinas proinflamatorias.

Genes antiinflamatorios	
IL-10 (Interleucina-10)	Tiene propiedades antiinflamatorias y puede regular la respuesta inmune.
IL-4 (Interleucina-4)	Actúa como regulador negativo de la inflamación.
Nrf2 (Factor 2 relacionado con NF-E2)	Regula la respuesta antioxidante y antiinflamatoria.

Fuente: elaboración propia.

Según Seo et al. (2005), los efectos positivos de los ω -3 en la salud se relacionan con:

- a) La inhibición o modulación de las vías de los eicosanoides, lo que conduce a la alteración de las respuestas inflamatorias y la expresión de las proteínas relacionadas.
- b) La modulación de moléculas o enzimas asociadas con diversas rutas de señalización que involucran la función celular normal y patológica.
- c) La incorporación de AG omega-3 en fosfolípidos de membrana.
- d) Los efectos directos sobre la expresión génica.

1.3.1. Proporción de ω -6 y ω -3 en el proceso inflamatorio normal

En la última centuria se han observado transformaciones significativas en el abastecimiento alimentario. La intersección de la tecnología alimentaria y la agricultura moderna ha propiciado una producción masiva de aceites vegetales ricos en ω -6, al tiempo que se ha modificado la dieta de los animales de pastoreo, sustituyendo su alimentación basada en pasto por granos. Como resultado, ha ocurrido un aumento sustancial en el consumo humano de ω -6, específicamente el LA, proveniente de los aceites, y del AA, presentes en la carne, huevos y productos lácteos. La proporción de ω -6/ ω -3 en aceites de maíz y cártamo es de aproximadamente 60:1 y 77:1, respectivamente (Simopoulos y DiNicolantonio, 2016). Las cantidades excesivas de ω -6 en las dietas occidentales actuales promueven la patogenia de muchas enfermedades autoinmunes, inflamatorias y alérgicas (Simopoulos, 2002), enfermedades inflamatorias crónicas, como la enfermedad del hígado graso no alcohólico (NAFLD), enfermedades cardiovasculares, obesidad, enfermedad inflamatoria intestinal (EII), artritis reumatoide y enfermedad de Alzheimer (EA) (Patterson et al., 2012).

La investigación ha demostrado que al mantener un equilibrio adecuado en la proporción de ácidos grasos ω -6/ ω -3 en la dieta favorece la producción de EPA en el cuerpo, o aumentando la ingesta dietética de EPA y DHA, a través del consumo de suplementos de pescado graso o aceite de pescado, se pueden lograr reducciones en la incidencia de muchas enfermedades crónicas que implican

procesos inflamatorios (Wall et al., 2010). En la prevención secundaria de enfermedades cardiovasculares, una relación de 4/1 $\omega 6/\omega 3$ se asoció con una disminución del 70 % en la mortalidad total. La proporción más baja de $\omega 6/\omega 3$ en mujeres con cáncer de mama se asoció con una disminución del riesgo. Una proporción de 2-3/1 suprimió la inflamación en pacientes con artritis reumatoide, 5/1 tuvo un efecto beneficioso en pacientes con asma, mientras que 10/1 tuvo consecuencias adversas (Simopoulos, 2002).

Algunos de los estudios más relevantes que se han realizado para determinar el equilibrio adecuado del consumo de $\omega 6/\omega 3$ son:

1) *Estudio de Framingham Heart Study (FHS)*: iniciado en 1948, ha examinado la relación entre la dieta y la enfermedad cardiovascular. Algunos análisis sugieren que una relación 4:1 de $\omega 6/\omega 3$ puede ser beneficiosa para la prevención de enfermedades cardíacas (Mahmood et al., 2014).

2) *Estudio Lyon Diet Heart*: este estudio examinó los efectos de una dieta mediterránea en pacientes con enfermedad cardíaca. La dieta mediterránea tiene una proporción más equilibrada de $\omega 6/\omega 3$. Los resultados mostraron una reducción significativa en los eventos cardiovasculares en el grupo de esta dieta, en comparación con el grupo de control (De Lorgeril et al., 1999).

3) *Estudio de los Inuit*: los inuit, población indígena del Ártico, tienen una dieta rica en $\omega 3$ provenientes de pescados y mariscos. Los estudios han demostrado que esta población presenta una baja incidencia de enfermedades cardiovasculares y una relación $\omega 6/\omega 3$ cercana a 1:1 (Senfleber et al., 2020).

4) *Estudio Kitava*: realizado en una población de la isla Kitava en Papúa, Nueva Guinea, mostró que una dieta con una proporción $\omega 6/\omega 3$ de alrededor de 1:1 se asociaba con una baja incidencia de enfermedad cardiovascular, diabetes y otras enfermedades crónicas (Lindeberg y Lundh, 1993).

Algunas de las instituciones que han hecho recomendaciones sobre el consumo de una proporción adecuada de $\omega 6/\omega 3$ son:

a) Organización Mundial de la Salud (OMS): la OMS ha establecido una recomendación general para una proporción de $\omega 6/\omega 3$ entre 5:1 y 10:1. Sin embargo, también mencionan que una relación más cercana a 1:1 puede ser aún más beneficiosa.

b) Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA): la EFSA ha establecido una ingesta de referencia para $\omega 3$, pero no ha especificado una proporción exacta con los $\omega 6$. Recomiendan un consumo adecuado de ambos tipos de ácidos grasos para mantener una dieta equilibrada.

c) Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA): a través de su *Guía Alimentaria*, recomienda consumir una variedad de alimentos que proporcionen

una adecuada cantidad de ω -3 y limitar el consumo de ω -6, especialmente los provenientes de fuentes no saludables, como las grasas trans y saturadas.

d) Autoridad de Seguridad Alimentaria de Australia y Nueva Zelanda (FSANZ): ha establecido un nivel de referencia para el consumo de ω -3, pero no ha fijado una proporción específica con los ω -6. Sugieren consumir una variedad de alimentos que proporcionen ambos tipos de ácidos grasos en cantidades adecuadas.

2. Discusión

La infección por el SARS-CoV-2 desencadena una respuesta inflamatoria sistémica, caracterizada por la liberación de citoquinas y quimiocinas. El virus puede causar daño directo a las células pulmonares, especialmente aquellas que expresan el receptor ACE2, contribuyendo aún más a la inflamación y el daño tisular. La respuesta inflamatoria en los pulmones también puede ser exacerbada por comorbilidades como enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad, alterando la respuesta inmunológica del cuerpo y aumentando el riesgo de complicaciones graves.

El desequilibrio en la proporción de ácidos grasos ω -6 y ω -3 en la dieta puede tener implicaciones significativas en el proceso inflamatorio del cuerpo humano. Los ω -6, presentes en una variedad de alimentos vegetales y animales, están implicados en la promoción de la inflamación, mientras que los ω -3, predominantemente encontrados en fuentes marinas y vegetales, tienen efectos antiinflamatorios. Un exceso de ω -6 puede desplazar a los ω -3 en las membranas celulares, alterando la función de la barrera celular y favoreciendo la producción de mediadores proinflamatorios, el desequilibrio en la proporción de ω -6/ ω -3 puede influir en la expresión génica, activando genes proinflamatorios y suprimiendo genes antiinflamatorios.

La dieta mediterránea y la de poblaciones como los inuit y los habitantes de la isla Kitava, que tienden a tener proporciones más cercanas a 1:1 en su consumo de ω -6/ ω -3, han sido objeto de estudio y han demostrado resultados positivos en la reducción de enfermedades crónicas.

La dieta mexicana tradicional ha experimentado cambios significativos en las últimas décadas, y uno de los aspectos preocupantes es el aumento en el consumo de grasas saturadas, presentes en carnes grasas, productos lácteos enteros y alimentos procesados, los cuales pueden tener consecuencias negativas para la salud y contribuir al aumento de enfermedades crónicas. Es indispensable promover una dieta equilibrada que incluya una variedad de alimentos nutritivos, como frutas, verduras, granos enteros, proteínas magras y fuentes de grasas saludables, como

aceites vegetales no saturados, aguacates y frutos secos. También es crucial educar a la población sobre los riesgos asociados con el consumo excesivo de grasas saturadas y fomentar hábitos alimentarios saludables desde una edad temprana.

3. Conclusiones

El proceso inflamatorio en los pulmones durante la infección por SARS-CoV-2 es un componente central en la patogénesis de COVID-19. Comprender los mecanismos subyacentes de esta inflamación es crucial para desarrollar estrategias efectivas de tratamiento y manejo de la enfermedad, ya que el proceso puede llevar a complicaciones graves como el SDRA. La infección desencadena una respuesta donde se liberan citoquinas y quimiocinas que atraen a las células del sistema inmunológico. La inflamación de los pulmones durante la infección con el SARS-CoV-2 puede ser causada por varias razones entre las que se encuentra la respuesta inflamatoria exacerbada por comorbilidades. Además, los niveles anormales de $\omega 6$ y $\omega 3$ pueden contribuir a la inflamación crónica en los pulmones de los pacientes con COVID-19. La importancia de mantener un correcto equilibrio de la ingesta de $\omega 6/\omega 3$ es primordial para garantizar una buena respuesta inmunológica y una respuesta inflamatoria controlada. Se han realizado diferentes estudios para recomendar un consumo equilibrado de $\omega 6/\omega 3$ y el más común es 1:1, aunque la OMS también recomienda un equilibrio entre 5:1 y 10:1. Es importante continuar investigando los mecanismos subyacentes de la inflamación pulmonar durante la infección por SARS-CoV-2, así como los factores que causan el desequilibrio de los $\omega 6/\omega 3$ en el proceso inflamatorio. Comprender esto puede ayudar a desarrollar estrategias de tratamiento más efectivas para mitigar la inflamación y mejorar los resultados en los pacientes afectados por COVID-19 y otras enfermedades.

Referencias

- Beyerstedt, S., Casaro, E. B. y Rangel, É. B. (2021). COVID-19: angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) expression and tissue susceptibility to SARS-CoV-2 infection. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 40(5), 905-919. DOI: 10.1007/s10096-020-04138-6.
- Calder, P.C. (2020). Eicosanoids. *Essays Biochem*, 64(3), 423-441. DOI: 10.1042/EBC20190083.
- Cao, W., Birkenbach, M. y Chen, S. (2022). Patterns of Inflammatory Cell Infiltration and Expression of STAT6 in the Lungs of Patients With COVID-19: An Autopsy Study. *Applied Immunohistochemistry & Molecular Morphology*, 30(5), 350-357. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35363626/>
- Costela-Ruiz, V.J., Illescas-Montes, R., Puerta-Puerta, J. M., Ruiz, C. y Melguizo-Rodríguez, L. (2020). SARS-CoV-2 infection: The role of cytokines in COVID-19 disease. *Cytokine & Growth Factor Reviews*, 54, 62-75. DOI: 10.1016/j.cytogfr.2020.06.001
- Cheon, S. Y. y Koo, B. N. (2021). Inflammatory Response in COVID-19 Patients Resulting from the Interaction of the Inflammasome and SARS-CoV-2. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(15), 7914. 10.3390/ijms22157914
- Dennis, E. A. y Norris, P. C. (2015). Eicosanoid storm in infection and inflammation. *Nature Reviews Immunology*, 15, 511-523. <https://doi.org/10.1038/nri3859>
- De Lorgeril, M., Salen, P., Martin, J. L., Monjaud, I., Delaye, J. y Mamelle, N. (1999). Mediterranean diet, traditional risk factors, and the rate of cardiovascular complications after myocardial infarction: final report of the Lyon Diet Heart Study. *Circulation*, 99(6), 779-85. DOI: 10.1161/01.cir.99.6.779.
- DiNicolantonio, J. J. y O'Keefe, J. (2020). The Importance of Maintaining a Low Omega-6/Omega-3 Ratio for Reducing the Risk of Inflammatory Cytokine Storms. *Missouri Medicine*, 117(6), 539-542. PMID: 33311785.
- Duffney, P. F., Falsetta, M. L., Rackow, A. R., Thatcher, T. H., Phipps, R. P. y Sime, P. J. (2018). Key roles for lipid mediators in the adaptive immune response. *The Journal of Clinical Investigation*, 128(7), 2724-2731. DOI: 10.1172/JCI97951
- Feliu, M. S., Fernández, I. y Slobodianik, N. (2021). Importancia de los ácidos grasos omega 3 en la salud. *Actualización en Nutrición*, 22(1), 25-32. <https://doi.org/10.48061/SAN.2021.22.1.25>
- Fernández-Pérez, G. C., Oñate, M. M., Fernández-Rodríguez, P., Velasco, C. M., Corral, C. M., Franco, L. A. et al. (2021). SARS-CoV-2: what it is, how it acts, and how it manifests in imaging studies. *Radiologia*, 63(2), 115-126. DOI: 10.1016/j.rx.2020.10.006
- Furman, D., Campisi, J., Verdin, E., Carrera-Bastos, P., Targs, S., Franceschi, C. et al. (2019). Chronic inflammation in the etiology of disease across the life span. *Nature Medicine*, (12), 1822-1832. DOI: 10.1038/s41591-019-0675-0.

- García, C., Andersen, C. J. y Blesso, C. N. (2023). The Role of Lipids in the Regulation of Immune Responses. *Nutrients*, 15(18), 3899. <https://doi.org/10.3390/nu15183899>
- García, M., García, A. y Gil Hernández, A. (2006). Importancia de los lípidos en el tratamiento nutricional de las patologías de base inflamatoria. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 30-43.
- García-Casal, M. N. y Pons-García, H. E. (2014). Dieta e inflamación. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 127(1), 47-56.
- Gutiérrez, S., Svahn, S. L. y Johansson, M. E. (2019). Effects of Omega-3 Fatty Acids on Immune Cells. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20), 5028. DOI: 10.3390/ijms20205028.
- Hammock, B. D., Wang, W., Gilligan, M. M. y Panigrahy, D. (2020). Eicosanoids: The Overlooked Storm in Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)? *The American Journal of Pathology*, 190(9), 1782-1788. DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.06.010
- Huerta-Yépez, S., Tirado-Rodríguez, A. B. y Hankinson, O. (2016). Papel de las dietas ricas en omega-3 y omega-6 en el desarrollo del cáncer. *Boletín Médico del Hospital Infantil de México*, 73(6), 446-456. <https://doi.org/10.1016/j.bmhmx.2016.11.001>
- Innes, J. K. y Calder, P. C. (2018). Omega-6 fatty acids and inflammation. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 191, 102554. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2023.102554>
- Kruglikov, I. L., Shah, M. y Scherer, P. E. (2020). Obesity and diabetes as comorbidities for COVID-19: Underlying mechanisms and the role of viral-bacterial interactions. *eLife*, 9(septiembre), e61330. DOI: 10.7554/eLife.61330.
- Lin, S., Zhao, Y., Zhou, D., Zohua, F. y Xu, C. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-19): cytokine storms, hyper-inflammatory phenotypes, and acute respiratory distress syndrome. *Genes & Diseases*, 7(4), 520-527. <https://doi.org/10.1016/j.gendis.2020.06.009>
- Lindeberg, S. y Lundh, B. (1993). Apparent absence of stroke and ischaemic heart disease in a traditional Melanesian island: a clinical study in Kitava. *Journal of Internal Medicine*, 233(3), 269-75. DOI: 10.1111/j.1365-2796.1993.tb00986.x.
- Mahmood, S. S., Levy, D., Vasan, R. S. y Wang, T. J. (2014). The Framingham Heart Study and the epidemiology of cardiovascular disease: a historical perspective. *Lancet*, 383(9921), 999-1008. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)61752-3
- Mazidimoradi, A., Alemzadeh, E., Alemzadeh, E. y Salehiniya, H. (2022). The effect of polyunsaturated fatty acids on the severity and mortality of COVID patients: A systematic review. *Life Sciences*, 299, 120489. DOI: 10.1016/j.lfs.2022.120489
- Meduri, G. U., Annane, D., Chrousos, G. P., Marik, P. E. y Sinclais, S. E. (2009). Activation and Regulation of Systemic Inflammation in ARDS: Rationale for Prolonged Glucocorticoid Therapy. *Chest*, 136(6), 1631-1643. <https://doi.org/10.1378/chest.08-2408>

- Oh, D. Y., Talukdar, S., Bae, E. J., Imamura, T., Morinaga, H., Fan, W. et al. (2010). GPR120 is an omega-3 fatty acid receptor mediating potent anti-inflammatory and insulin-sensitizing effects. *Cell*, 142(5), 687-98. DOI: 10.1016/j.cell.2010.07.041
- Olveira, G., Olveira, C., Acosta, E., Espíldora, F., Garrido-Sánchez, L., García-Escobar, E. et al. (2010). La suplementación con ácidos grasos mejora parámetros respiratorios, inflamatorios y nutricionales en adultos con fibrosis quística. *Archivos de Bronconeumología*, 46(2), 70-77.
- Otifi, H. M. y Adiga, B. K. (2022). Endothelial Dysfunction in Covid-19 Infection. *The American Journal of the Medical Sciences*, 363(4), 281-287. DOI: 10.1016/j.amjms.2021.12.010.
- Panigrahy, D., Gilligan, M. M., Huang, S., Gartung, A., Cortés-Puch, I., Sime, P. J. et al. (2020). Inflammation resolution: a dual-pronged approach to averting cytokine storms in COVID-19? *Cancer and Metastasis Reviews*, 39, 337-340. <https://doi.org/10.1007/s10555-020-09889-4>
- Patterson, E., Wall, R., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P. y Stanton, C. (2012). Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated Fatty acids. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 1-16. DOI: 10.1155/2012/539426.
- Primorac, D., Brlek, P., Maticic, V., Molnar, V., Vrdoljak, R. y Parcina, M. (2022). Cellular Immunity-The Key to Long-Term Protection in Individuals Recovered from SARS-CoV-2 and after Vaccination. *Vaccines*, 10(3), 442. <https://doi.org/10.3390/vaccines10030442>
- Rahman, R. A., Bhowmik, D. R. y Amin, M. T. (2021). Role of arachidonic cascade in COVID-19 infection: A review. *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*, 154, 106539. <https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2021.106539>
- Rogero, M. M., Leão, M. C., Santana, T. M., Pimentel, M., Carlini, G. C., da Silveira, T. F. et al. (2020). Potential benefits and risks of omega-3 fatty acids supplementation to patients with COVID-19. *Free Radical Biology & Medicine*, 156(agosto), 190-199. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2020.07.005
- Saini, R. K. y Keum, Y. S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: Dietary sources, metabolism, and significance - A review. *Life Science*, 203, 255-267. DOI: 10.1016/j.lfs.2018.04.049
- Seo, T., Blaner, W. S. y Deckelbaum, R. J. (2005). Omega-3 fatty acids: molecular approaches to optimal biological outcomes. *Current Opinion in Lipidology*, 16(1), 11-8. DOI: 10.1097/00041433-200502000-00004.
- Senftleber, N. K., Albrechtsen, A., Lauritzen, L., Larsen, C. L., Bjerregaard, P., Diaz, L. J. et al. (2020). Omega-3 fatty acids and risk of cardiovascular disease in Inuit: First prospective cohort study. *Atherosclerosis*, 312, 28-34. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2020.08.032.

- Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother*, 56(8), 365-79. DOI: 10.1016/s0753-3322(02)00253-6
- Simopoulos, A. P. (2002). Genetic variants in the metabolism of omega-6 and omega-3 fatty acids: their role in the determination of nutritional requirements and chronic disease risk. *Experimental Biology and Medicine*, 235(7), 785-95. doi: 10.1258/ebm.2010.009298.
- Simopoulos, A. P. y DiNicolantonio, J. J. (2016). The importance of a balanced $\omega 6$ to $\omega 3$ ratio in the prevention and management of obesity. *Open Heart*, 3(2), e000385. DOI: 10.1136/openhrt-2015-000385
- Townsend, L., Dyer, H., Naughton, A., Imangaliyev, S., Dunne, J., Kiersey, R. et al. (2022). Severe COVID-19 is characterised by inflammation and immature myeloid cells early in disease progression. *Heliyon*, 8(4), e09230. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09230>.
- Vahidf, F. y Rahmani, D. (2021). Can an anti-inflammatory diet be effective in preventing or treating viral respiratory diseases? A systematic narrative review. *Clinical Nutrition ESPEN*, 43, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.04.009>
- Wall, R., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F. y Stanton, C. (2010). Fatty acids from fish: the anti-inflammatory potential of long-chain omega-3 fatty acids. *Nutrition Reviews*, 68(5), 280-289
- Wang, Y., Grunewald, M. y Perlman, S. (2020). Coronaviruses: An Updated Overview of Their Replication and Pathogenesis. *Methods Molecular Biology*, 2203, 1-29. DOI: 10.1007/978-1-0716-0900-2_1
- Wang, L. L., Yang, J. W. y Xu, J. F. (2022). Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 causes lung inflammation and injury. *Clinical Microbiology Infect*, 28(4), 513-520. DOI: 10.1016/j.cmi.2021.11.022
- Weaver, K. L., Ivester, P., Seeds, M., Case, L. D., Arm, J. P. y Chilton, F. H. (2009). Effect of dietary fatty acids on inflammatory gene expression in healthy humans. *The Journal of Biological Chemistry*, 284(23), 15400-7. DOI: 10.1074/jbc.M109.004861.
- Weill, P., Plissonneau, C., Legrand, P., Rioux, V. y Thibault, R. (2020). May omega-3 fatty acid dietary supplementation help reduce severe complications in COVID-19 patients? *Biochimie*, 179, 275-280. DOI: 10.1016/j.biochi.2020.09.003
- Xu, Z., Shi, L., Wang, Y., Zhang, J., Huang, L., Zhang, Ch. et al. (2020). Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(4), 420-422. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30076-X](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30076-X)
- Zaid, Y., Doré, E., Dubuc, I., Archambault, A. S., Flamand, O., Laviolette, M. et al. (2021). Chemokines and eicosanoids fuel the hyperinflammation within the lungs of patients with severe COVID-19. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 148(2), 368-380. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.05.032>

- Zaim, S., Chong, J. H., Sankaranarayanan, V. y Harky, A. (2020). COVID-19 and Multiorgan Response. *Current Problems in Cardiology*, 45(8), 100618. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2020.100618.
- Zhu, Q., Xu, Y., Wang, T. y Xie, F. (2022). Innate and adaptive immune response in SARS-CoV-2 infection-Current perspectives. *Frontiers in Immunology*, 13, 1053437. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1053437>

CAPÍTULO 5.

Las EII, deficiencia de micronutrientes y la COVID-19

Valeria Maylee González Medrano^{1*}

Rocío Margarita Uresti Marín¹

Melissa Daniela González Hinojosa¹

Resumen

La enfermedad inflamatoria intestinal (EII) es un término que engloba dos trastornos principales: la enfermedad de Crohn (EC) y la colitis ulcerosa (CU). Ambas son condiciones crónicas y recurrentes que afectan el tracto gastrointestinal. La causa exacta de la EII no se comprende completamente, pero involucra una combinación de factores genéticos y ambientales; así como modificaciones inmunológicas del individuo que la presenta. Las personas con EII pueden experimentar deficiencias de nutrientes debido a una malabsorción, inflamación, disbiosis microbiana o dietas restrictivas. Los micronutrientes, como las vitaminas A, C, D, E, zinc, selenio y cobre, desempeñan un papel crucial en la función adecuada del sistema inmunológico. La combinación de deficiencias de micronutrientes, disfunción inmunológica e inflamación, así como la posibilidad de hipercitoquinemia en pacientes con EII, puede contribuir a un riesgo de complicaciones relacionadas con COVID-19. Asegurar una ingesta adecuada de nutrientes utilizando suplementos individualizados en pacientes con EII es esencial para mantener un sistema inmunológico saludable y contribuir en la respuesta del cuerpo frente a las infecciones.

Palabras clave: dieta, EII, inflamación, COVID-19, SARS-CoV-2

1. Introducción

Existe un grupo de trastornos crónicos que involucran la inflamación del tracto gastrointestinal que se conoce como enfermedad inflamatoria intestinal (EII). La EII incluye dos de las enfermedades gastrointestinales más comunes: la enfermedad de Crohn (EC) y la colitis ulcerosa (CU). Ambas se caracterizan por ser enfermedades sistémicas crónicas remitentes-recurrentes y están asociadas con una menor calidad

¹ UATSCDH Universidad Autónoma de Tamaulipas.

*mdgonzalez@docentes.uat.edu.mx

de vida y un mayor riesgo de cáncer de colon (Morshedzadeh et al., 2022). A menudo se presenta en jóvenes adultos y adolescentes. Sin embargo, puede comenzar en cualquier etapa de la vida, desde la infancia hasta la adultez avanzada. La EII es más común en países de alto ingreso, especialmente en Europa y América del Norte. La prevalencia también está aumentando en países en desarrollo y en regiones que están adoptando estilos de vida occidentales. Existe una predisposición genética para la EII (Rosen et al., 2015). Las personas con antecedentes familiares de EII tienen un mayor riesgo de desarrollar la enfermedad. La EII se caracteriza por ser una enfermedad crónica, remitente-recurrente, que puede afectar la calidad de vida de los pacientes. La inflamación crónica y las complicaciones asociadas, como la displasia, aumentan el riesgo de cáncer de colon, especialmente en pacientes con colitis ulcerosa extensa y de larga duración (Lucafò et al., 2021).

La microbiota intestinal desempeña un papel crucial en la inflamación de las mucosas en la EII. En esta enfermedad se observan importantes cambios en su función y composición, como una disminución de la diversidad bacteriana, una reducción de bacterias anaeróbicas antiinflamatorias y un aumento de bacterias con potencial proinflamatorio (Benech y Sokol, 2023).

Aunque no se ha identificado una causa ambiental única para la EII, ciertos factores como: tabaquismo, dieta, estrés y exposición a ciertas infecciones pueden influir en el desarrollo o exacerbación de la enfermedad en personas genéticamente predispuestas. Diversos estudios han demostrado que una dieta poco saludable y la deficiencia de algunos nutrientes están implicados en la etiología de la EII. También que la disbiosis intestinal puede aumentar el riesgo de desarrollar EII (Morshedzadeh et al., 2022). La microbiota intestinal es crucial en la regulación del sistema inmunológico local e integral, interactúa constantemente con las células inmunitarias para mantener el equilibrio entre la tolerancia y la respuesta inmune. Un desequilibrio en ella puede promover la inflamación crónica al activar las células de manera inapropiada o excesiva. La inflamación crónica contribuye en el desarrollo de diversas enfermedades, incluyendo trastornos autoinmunitarios e inflamatorios como la EII (Yoo, et al., 2020).

En marzo de 2020, la OMS declaró la pandemia de COVID-19. La infección del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV-2) es una enfermedad que afecta principalmente al sistema respiratorio, pero también otros sistemas y órganos del cuerpo (Hu et al., 2021). El virus entra en el flujo sanguíneo, activa en exceso las plaquetas y desencadena una respuesta inflamatoria exagerada, lo que altera el equilibrio de microorganismos en el intestino, caracterizada por una menor abundancia de bacterias con efectos benéficos a la salud, ciertas cepas de estas bacterias producen metabolitos que pueden contrarregular la proteína de la

espícula (o proteína Spike) de otros coronavirus, evitando así su transmisión y sus efectos nocivos.

La proteína Spike del virus tiene un papel crucial en el proceso viral, su función principal es mediar la entrada del virus en las células huésped. Esta proteína se une a receptores específicos en la superficie de la célula huésped, facilitando la fusión de la membrana viral con la membrana celular. Este proceso permite que el material genético del virus entre en la célula huésped y comience la replicación viral (Martin et al., 2023). El virus produce daño en la circulación intestinal, lo cual puede provocar coágulos sanguíneos en el sistema de irrigación intestinal, conduciendo a problemas de absorción de nutrientes, desnutrición y un aumento en la gravedad de la enfermedad y su letalidad. Estas complicaciones pueden dejar secuelas a corto y largo plazo en la salud de los pacientes (Saviano et al., 2023).

El virus SARS-CoV-2 puede llevar a una serie de complicaciones graves, como el síndrome de dificultad respiratoria aguda (SDRA), el fallo multiorgánico y coagulopatías, que pueden resultar en un elevado riesgo de mortalidad, especialmente en grupos de alto riesgo como personas mayores y aquellas con condiciones médicas subyacentes (Empson et al., 2022). Además de los síntomas respiratorios predominantes, una proporción significativa de pacientes infectados por SARS-CoV-2 presenta síntomas gastrointestinales, como diarrea, náuseas, dolor abdominal y anorexia. Se ha reportado que estos síntomas afectan entre el 10 % y el 60 % de los pacientes (Weidinger et al., 2021). La presencia de estas manifestaciones sugiere que el SARS-CoV-2 podría afectar directamente la función y la estabilidad intestinal. Esto es relevante para comprender y prevenir posibles vías de transmisión oral-fecal del virus, que podrían contribuir a su propagación.

En el contexto de EII, la revisión del estado nutricional y la implementación de una terapia nutricional adecuada son aspectos cruciales para la atención médica de los pacientes. La nutrición es fundamental en la gestión de estas condiciones, y la terapia nutricional personalizada puede ayudar a mejorar el estado general del paciente y reducir las complicaciones asociadas (Balestrieri et al., 2020).

El estudio más reciente en México de EII fue en el 2015, el número total de casos atendidos de EC fue de 9 953 y el de CU fue de 33 060. Los pacientes ≥ 50 años representaron el 35.1 % y el 31.6 % del total de casos atendidos de EC y CU, respectivamente. La EII es una carga para la salud de los adultos mexicanos y del Sistema Nacional de Salud de México, y se estima que aumente en los próximos 15 años (Yamamoto-Furusho et al., 2020). La EII afecta a 6.8 millones de personas a nivel mundial (Jairath y Feagan, 2020). Los pacientes con EII tienen un mayor riesgo de infecciones relevantes y oportunistas, especialmente cuando tienen la

enfermedad activa y están tomando terapia inmunosupresora en comparación con la población general (Scalzo y Ungaro, 2023).

Organizaciones internacionales como la OMS, European Crohn's and Colitis Organisation (ECCO) y American Gastroenterological Association (AGA) han propuesto recomendaciones de consenso sobre modificaciones en la dieta, el estilo de vida, el comportamiento y el medioambiente, con el objetivo de optimizar el control de la EII y, en última instancia, prevenir su desarrollo. El COVID-19 mostró tasas de morbilidad y mortalidad más altas en adultos mayores y aquellos con condiciones médicas preexistentes, relacionados con la inflamación y otros trastornos como enfermedades cardiovasculares y diabetes (Gao et al., 2020).

Los síntomas más comunes del COVID-19 incluyen fiebre, tos, dificultad para respirar, fatiga y dolor de garganta; además, algunos pacientes pueden experimentar síntomas gastrointestinales, pérdida de gusto u olfato, congestión nasal, dolor de cabeza y otros síntomas (Baj et al., 2020). Los efectos sistémicos en el cuerpo, incluida la inflamación generalizada y una respuesta inmunológica exagerada, pueden contribuir a enfermedades gastrointestinales (Chakraborty y Burns, 2023). Bajo este panorama, es importante abordar y tratar la desnutrición de micronutrientes en pacientes con EII mediante suplementaciones nutricionales.

La identificación de posibles factores de vulnerabilidad, como deficiencias nutricionales, es crucial para desarrollar estrategias de prevención y manejo, específicas en personas con EII (Zabetakis et al., 2020). La infección por COVID-19 puede tener efectos secundarios, como pérdida de apetito, dificultades en la alimentación y pérdida de peso, lo que podría exacerbar la desnutrición en pacientes con EII (Águila et al., 2020). Una respuesta inmunitaria debilitada por falta de nutrientes puede influir en la capacidad del cuerpo, originando cambios en la diferenciación y activación de células inmunológicas, el clonaje de linfocitos, la producción de anticuerpos y otras proteínas necesarias para combatir infecciones virales, como el SARS-CoV-2 (Foolchand et al., 2022). La inflamación sistémica y la desnutrición pueden agravar los síntomas respiratorios en pacientes con COVID-19, ya que pueden afectar la capacidad del cuerpo para enfrentar infecciones respiratorias (Carretero et al., 2020).

La microbiota intestinal es crucial en la absorción y el metabolismo de diversos nutrientes en el tracto gastrointestinal, algunas bacterias intestinales descomponen nutrientes indigeribles, como fibras y polisacáridos, produciendo ácidos grasos de cadena corta (SCFA) como el butirato, que son absorbidos por las células intestinales. Además, la microbiota contribuye a la síntesis de vitaminas esenciales, como la vitamina K y algunas del complejo B. También afecta la motilidad intestinal, lo que puede influir en la eficiencia de la absorción de nutrientes. Los

enterocitos, células epiteliales del intestino delgado, son esenciales para la absorción de nutrientes como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Estos transportadores especializados permiten el paso de nutrientes al torrente sanguíneo y forman una barrera que controla la entrada de patógenos. La microbiota intestinal y sus metabolitos pueden influir en la salud y función de los enterocitos. Además, las células inmunes regulan la respuesta inmune, y una reacción excesiva puede dañar los enterocitos, afectando la absorción de nutrientes (Rowland et al., 2018). Atender las deficiencias de micronutrientes relacionados con el sistema inmunitario puede reducir la vulnerabilidad de los pacientes con EII a infecciones, incluidas aquellas derivadas de la exposición al SARS-CoV-2. La identificación de estas deficiencias abre la puerta a investigaciones futuras para explorar intervenciones nutricionales más específicas y avanzadas, con el fin de mejorar la salud inmunológica en pacientes con EII.

1.1. Síntomas y problemas nutricionales que ocasionan las EII

La EII es un término que engloba un grupo de enfermedades crónicas caracterizadas por la inflamación de las mucosas del tracto gastrointestinal, que incluye la enfermedad de Crohn y colitis ulcerosa (McDowell et al., 2023).

a) *Enfermedad de Crohn*: puede afectar cualquier parte del tracto gastrointestinal, desde la boca hasta el ano. Esta enfermedad se caracteriza por la inflamación transmural (forma específica de inflamación que afecta a todas las capas de un órgano o tejido), lo que significa que la inflamación puede extenderse a través de todas las capas de la pared intestinal. Los síntomas pueden variar e incluir dolor abdominal, diarrea, pérdida de peso, fatiga y complicaciones como estenosis (estrechamiento del intestino) y fístulas (Ranasinghe y Hsu, 2023).

b) *Colitis ulcerosa*: se limita al colon (intestino grueso) y al recto. La inflamación en la colitis ulcerosa afecta principalmente la capa interna del revestimiento del colon. Los síntomas típicos incluyen diarrea con sangre, dolor abdominal y urgencia para evacuar el intestino. La edad máxima de aparición de la enfermedad es entre los 30 y los 40 años (Ungaro et al., 2017).

Ambas enfermedades son crónicas y pueden experimentar brotes seguidos de periodos de remisión. Las diferencias principales incluyen:

a) *Inflamación intestinal*: en la CU, la inflamación se limita al colon y es continua y superficial. En la EC, la inflamación puede afectar cualquier porción del tracto gastrointestinal y suele ser transmural (Lofus, 2011).

b) *Dolor abdominal*: es un síntoma común en las 2 EII, puede variar en intensidad y ubicación, y suele ser crónico. El dolor puede surgir de mecanismos como la obstrucción parcial y la distensión intestinal, así como la inflamación

intestinal grave. El procesamiento del dolor e incluso la activación de las vías sensoriales está modulada por la excitación, la emoción y factores cognitivos (Bielefeld et al., 2009).

c) *Dolor en las articulaciones*: la enfermedad EII puede causar problemas en las articulaciones, como la artritis. Hay dos tipos de problemas articulares en pacientes con EII: artritis (inflamación) y artralgia (dolor sin inflamación). La artralgia es más común, afectando al 40-50 % de los pacientes, similar a la población general. La artritis afecta alrededor del 15-20 % de los pacientes con EC y alrededor del 10 % de los pacientes con CU en algún momento de su enfermedad (Orchard, 2012).

d) *Fatiga*: la fatiga en pacientes con EII puede también relacionarse con deficiencia de nutrientes esenciales, afectando la energía disponible para el cuerpo. Es más prevalente en la EC que en la CU. Puede indicar una recidiva o reactivación de la enfermedad, complicaciones, efectos adversos de la medicación, cambios en el microbioma intestinal, problemas de sueño o síntomas psicosomáticos, y se ha demostrado que está vinculada a la gravedad de la enfermedad (Nocerino et al., 2020).

e) *La diarrea crónica*: es un síntoma característico de la EII, que puede aumentar las necesidades nutricionales del cuerpo debido a la pérdida de nutrientes y calorías. La pérdida de líquidos a través de la diarrea puede provocar desequilibrios en los niveles de electrolitos, como sodio, potasio y magnesio, lo que puede afectar la función celular y muscular (Barkas et al., 2013).

f) *Ayuno*: existen dos factores, cuando los pacientes evitan comer por síntomas como náuseas, dolor abdominal, vómitos y diarrea durante la actividad inflamatoria de la enfermedad, y el segundo es por las dietas restrictivas prolongadas durante la hospitalización (Scaldaferri et al., 2017).

g) *Disbiosis*: es una alteración del equilibrio de la microbiota y es uno de los desencadenantes de múltiples trastornos digestivos y relacionados con la ingesta de alimentos. Esta puede resultar en un aumento de bacterias patógenas o perjudiciales en el intestino, que compiten por el nicho y los nutrientes con las bacterias beneficiosas, afectando negativamente la digestión y la absorción de nutrientes (Hrncir, 2022). La disbiosis también puede contribuir a la inflamación crónica del tracto gastrointestinal y al aumento de la permeabilidad intestinal (síndrome del intestino permeable). Los cambios en la microbiota pueden afectar la fermentación y la producción de compuestos propios de esta, lo que puede influir en la digestión y la absorción de nutrientes (Yong-Hua et al., 2023). La disbiosis intestinal, o desequilibrio en la microbiota, puede inducir inflamación en sus etapas tempranas, afectando la integridad de la barrera intestinal y activando respuestas inmunitarias inapropiadas. A medida que la disbiosis progresa, la inflamación crónica puede

agravar el desequilibrio microbiano, creando un ciclo donde la inflamación y la disbiosis se retroalimentan mutuamente. Este proceso puede contribuir al desarrollo y la progresión de enfermedades intestinales y sistémicas (Shen et al., 2023).

1.2. Problemas nutricionales que presentan personas con EII

Las EII no solo afectan el tracto gastrointestinal, también tienen un impacto significativo en el estado nutricional de los pacientes. Las alteraciones en la absorción de nutrientes, junto con la inflamación crónica y los cambios en la dieta, pueden dar lugar a diversas deficiencias nutricionales y problemas asociados.

a) *Malabsorción de nutrientes*: la inflamación en el tracto gastrointestinal puede dañar el revestimiento del intestino y afectar su capacidad para absorber nutrientes. Esto puede dar lugar a la malabsorción de vitaminas, minerales y otros nutrientes esenciales, como la vitamina B₁₂, la vitamina D, el hierro y el calcio (Kilby et al., 2019).

b) *Anemia*: la pérdida crónica de sangre debido a úlceras en el tracto gastrointestinal y a la inflamación puede provocar anemia por deficiencia de hierro. Además, la malabsorción de vitamina B₁₂ puede provocar anemia megaloblástica (Kaitha et al., 2015).

c) *Deficiencias de vitaminas y minerales*: los pacientes con EII pueden experimentar deficiencias de diversas vitaminas y minerales, incluyendo vitamina D, calcio, vitamina K, ácido fólico y zinc, entre otros (Jabłońska y Mrowiec, 2023).

d) *Desnutrición*: la combinación de malabsorción, pérdida de apetito y pérdida de peso puede llevar a la desnutrición en personas con EII, lo que afecta la salud general y la capacidad de recuperación (Valentini y Schulzke, 2011).

e) *Cambios en la dieta*: para controlar los síntomas, algunos pacientes pueden evitar ciertos alimentos que desencadenen la inflamación (alimentos ricos en fibra, lácteos, carnes rojas). Esto puede resultar en una dieta restrictiva que puede ocasionar deficiencias en nutrientes esenciales (Roncoroni et al., 2022).

1.3. Cambios en el microbiota intestinal y deficiencia de nutrientes

La microbiota intestinal está compuesta por una amplia gama de microorganismos que desempeñan funciones esenciales para la salud del organismo, con hasta 10¹¹ bacterias por gramo de contenido intestinal (Thursby y Juge 2017). La microbiota humana está constituida por una comunidad diversa de bacterias, arqueas y organismos eucariotas que habitan en distintas partes del cuerpo, tanto en su interior como en la superficie, formando un ecosistema complejo y discreto que se adapta a las condiciones ambientales de cada nicho que alberga. Esta colonización competitiva impide que los patógenos externos se adhieran y se establezcan, ya

que los espacios y los recursos están ocupados por microorganismos benéficos (Marchesi, 2010). Estos organismos tienen un impacto significativo en la fisiología humana, contribuyendo a la mejora o al deterioro de las funciones metabólicas e inmunológicas del cuerpo humano. Durante las últimas décadas, la microbiota intestinal se ha relacionado con una variedad de enteropatías inflamatorias, infecciosas, alérgicas, autoinmunes, neurológicas y metabólicas, y forma parte de una maquinaria compleja y dinámica conocida como “barrera intestinal”, la mayor concentración de la microbiota humana se encuentra en el intestino (Ley et al., 2006). Estos microorganismos son los principales actores en el mantenimiento y sostenimiento de la salud (Ogunrinola et al., 2020).

La microbiota intestinal cumple diversas funciones esenciales para la salud del organismo entre ellas:

a) *Digestión y metabolismo de nutrientes*: participa en la descomposición de componentes alimenticios que son difíciles de digerir por las enzimas humanas. Fermenta ciertos polisacáridos complejos, como la fibra, produciendo compuestos beneficiosos como ácidos grasos de cadena corta, que pueden ser utilizados como fuente de energía (Abreu et al., 2021).

b) *Desarrollo y modulación del sistema inmunológico*: estimula la maduración y regulación del sistema inmunológico a través de la barrera intestinal. Los microorganismos beneficiosos estimulan la formación de células inmunológicas y mantiene las respuestas de citocinas homeostáticas manteniendo el equilibrio entre la tolerancia y la respuesta inmunológica contra patógenos (Wu y Wu, 2012).

c) *Protección contra patógenos*: actúa como una barrera competitiva contra patógenos potenciales. Algunos microorganismos producen sustancias antimicrobianas que previenen la colonización de patógenos en el tracto gastrointestinal (Pickard et al., 2017).

d) *Producción de vitaminas y compuestos beneficiosos*: algunas cepas de bacterias de la microbiota son capaces de sintetizar ciertas vitaminas, como la K y algunas del complejo B. Además, la microbiota contribuye a la producción de compuestos beneficiosos conocidos como postbióticos, dentro de los cuales están los ácidos grasos de cadena corta, que tienen efectos positivos en la salud intestinal (Morowitz et al., 2012).

e) *Regulación del metabolismo y el peso corporal*: la microbiota influye en el metabolismo y puede estar vinculada al control del peso corporal. Las interacciones entre la microbiota y el metabolismo afectan la absorción de nutrientes, la respuesta a la glucosa y la insulina (Ridaura et al., 2013; Zhao et al., 2018), la liberación de incretinas y neurotransmisores, así como el metabolismo de lipoproteínas, lo que

influye en la regulación del peso y el riesgo de enfermedades metabólicas (Boscaini et al., 2022).

La composición de microorganismos en el intestino es crucial en la inflamación de la mucosa asociada a la EII (Shan et al., 2022). En personas que padecen EII se han observado cambios significativos en la función y diversidad de la microbiota intestinal, como una disminución en la variedad de bacterias presentes, una reducción de ciertas bacterias anaeróbicas con propiedades antiinflamatorias y un aumento de bacterias con potencial proinflamatorio. Estas alteraciones influyen en el desarrollo y la exacerbación de la inflamación, característica de la mucosa en la EII (Benech y Sokol, 2023).

1.4. Deficiencias de nutrientes por cambios en la microbiota intestinal

La microbiota intestinal es elemental para la absorción y el metabolismo de diversos nutrientes en el tracto gastrointestinal y está dominada por dos filos, *Firmicutes* y *Bacteroidetes* (un filo bacteriano es una de las categorías taxonómicas más amplias en la clasificación de bacterias) y se ha observado que ciertos desequilibrios en su proporción están asociados con diferentes condiciones de salud, como la obesidad. Los cambios en la microbiota intestinal pueden afectar la capacidad del organismo para producir o absorber algunos nutrientes (Ramos y Martín, 2021). Algunos de esos cambios son:

a) *Deficiencias de aminoácidos*: la microbiota puede influir en la disponibilidad de ciertos aminoácidos como la taurina, glutamato y glicina, que son esenciales para diversas funciones biológicas (Wu et al., 2021).

b) *Deficiencia de vitaminas*: está involucrada en la síntesis de algunas vitaminas del grupo B, como biotina, cobalamina, folato, niacina, pantotenato, piridoxina, riboflavina y tiamina, pero en cantidades limitadas. Las vitaminas B desempeñan un papel crucial en la configuración de la diversidad y riqueza de la microbiota intestinal, las vitaminas B, como la B₆, B₉ (ácido fólico) y B₁₂, están involucradas en la producción de metabolitos que pueden influir en la composición y la funcionalidad de la microbiota, así como a mantener la integridad de la barrera intestinal (Hossain et al., 2022). Algunas bacterias como *Bacteroides species* y *Firmicutes* (por ejemplo, *Clostridium species*) en el intestino están involucradas en la producción de enzimas que participan en la conversión de la vitamina D (Sukik et al., 2023). Cambios en la abundancia o la presencia de estas bacterias podrían afectar la eficiencia de la activación de la vitamina D (Yamamoto y Jørgensen, 2020). La vitamina K es producida por bacterias en el intestino, y una microbiota saludable contribuye a esta producción (Ellis et al., 2021).

c) *Deficiencia de minerales*: la microbiota puede metabolizar compuestos que afectan la disponibilidad de minerales como hierro, zinc y selenio, influyendo en su absorción y utilización por el organismo. Las bacterias *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, pueden influir en la disponibilidad de hierro mediante la producción de metabolitos que afectan su solubilidad. Los géneros *Bacteroides* y *Firmicutes* influyen en el metabolismo del zinc al modificar su biodisponibilidad. Cambios en el pH intestinal pueden afectar la solubilidad de los minerales y, por ende, su absorción. Algunas bacterias como *Escherichia coli*, *Bacillus spp*, *Lactobacillus reuteri* producen sideróforos, moléculas que captan y quelan metales, incluido el zinc, lo que podría afectar su disponibilidad para las células intestinales. Algunas bacterias tienen la capacidad de reducir compuestos de selenio, como el selenato, a formas más biodisponibles como el seleniato o el seleniuro, esto puede influir en la absorción y utilización del selenio por el organismo (Eswayah et al., 2016). El ácido acético, producido por *Bacteroides* y *Firmicutes*, forma complejos con el hierro no hemo, afectando su biodisponibilidad para las células intestinales. De igual manera, el ácido fórmico, generado por *Bacteroides spp*, *Firmicutes* y *Lactobacillus spp*, puede formar complejos con el hierro, afectando su absorción (Rusu et al., 2020).

d) *Ácidos grasos de cadena corta (AGCC)*: la principal fuente de AGCC en humanos es la fermentación microbiana en los intestinos proximales (yeyuno, íleon y colon proximal) y en los intestinos distales (colon descendente, sigmoide y recto). En este proceso suelen degradarse parcialmente los carbohidratos no digeribles, así como péptidos y proteínas. La mayor fermentación suele llevarse en el colon, ya que existe una gran cantidad de bacterias anaeróbicas especialistas en la utilización de fuentes de carbono (Donaldson y Mazmanian, 2016). Un cambio en la composición de la microbiota intestinal puede tener un impacto en la fermentación bacteriana de los AGCC, incluyendo el acetato (C2), propionato (C3) y butirato (C4), que son los AGCC más abundantes en el cuerpo humano y los aniones en el colon. Aquellos son importantes, no solo como fuentes de energía para las células del colon, sino que también tienen efectos beneficiosos para la salud, como el mantenimiento de la integridad de la barrera intestinal, la regulación del sistema inmunológico y la modulación de la inflamación (Cong et al., 2022).

Cuando la microbiota intestinal se ve alterada debido a factores como enfermedades, cambios en la dieta, uso de antibióticos u otras condiciones médicas, puede existir disminución en la producción o absorción de estos nutrientes, desencadenando implicaciones para la salud en general.

1.5. Deficiencias de micronutrientes en pacientes con EII

a) *Vitamina A*: la mala absorción de ácidos grasos en pacientes con EII puede llevar a una deficiencia de vitamina A. Esta es necesaria para la producción y la función de varias células del sistema inmunológico, como los linfocitos T, los linfocitos B y los macrófagos. Estas células son esenciales para la respuesta inmunológica. La vitamina A también promueve la tolerancia inmunológica y ayuda al sistema inmunológico a reconocer y tolerar a las bacterias y microorganismos que son parte de la microbiota intestinal normal, en lugar de atacarlos (Soares-Mota et al., 2015). La tolerancia inmunológica implica también la no reactividad a antígenos propios, así como a antígenos externos no dañinos, por lo que la vitamina también protege contra la autoinmunidad y las alergias (Huang et al., 2018).

b) *Vitamina D*: su deficiencia es común en pacientes con EII debido a la mala absorción y a la inflamación crónica que puede afectar su conversión y metabolismo. La vitamina D ayuda a mantener un equilibrio en la actividad de las células T reguladoras y efectoras, lo que previene la inflamación descontrolada (Vernia et al., 2022). Su deficiencia puede poner en peligro la barrera mucosa, provocando lesiones y aumentando el riesgo de EII (Blanck y Aberra, 2013). La vitamina D es considerada una prohormona, ya que regula un sinfín de respuestas a nivel corporal, como las respuestas de secreción y a la insulina (Sung et al., 2012).

c) *Vitamina E*: la diarrea crónica da lugar a la pérdida de lípidos y, por lo tanto, a una menor absorción de vitaminas. Una de sus funciones es proteger las membranas y estructuras celulares del daño causado por los radicales libres, que se generan durante la inflamación y que pueden contribuir al estrés oxidativo. Reducir el estrés oxidativo puede ayudar a mantener la integridad de las células y a preservar su función (Fan et al., 2023).

d) *Vitamina B₉ (ácido fólico)*: la inflamación y las lesiones en el revestimiento intestinal pueden provocar malabsorción y deficiencia de ácido fólico. Además, el uso de sulfasalazina en pacientes con EII puede agravar esta deficiencia. La falta de ácido fólico se asocia con diversas afecciones adversas para la salud, principalmente anemia y enfermedades cardiovasculares. Esta deficiencia es común entre los pacientes con EII (Ratajczak et al., 2021).

e) *Vitamina B₁₂ (cobalamina)*: la inflamación crónica y la disbiosis, asociados con la EII, pueden afectar la absorción, de vitamina B₁₂, la cual desempeña un papel vital en la síntesis de ADN, producción de glóbulos rojos, el funcionamiento del sistema nervioso y el mantenimiento de la integridad estructural de los cromosomas. En pacientes con enfermedad de Crohn, el intestino delgado frecuentemente afectado es el íleon distal, donde se absorbe específicamente la vitamina B₁₂; por lo tanto, es muy probable que se produzca una malabsorción de esta vitamina (Ao et al., 2017).

f) *Vitamina C*: la deficiencia de vitamina C es común en pacientes con EII debido a la ingesta inadecuada, absorción deficiente, inflamación y diarrea crónica. Algunos pacientes evitan ciertos alimentos debido a que desencadenan síntomas, lo que puede resultar en una ingesta insuficiente. Los pacientes con EII tienen polimorfismos en los genes que codifican los transportadores de vitamina C necesarios para su absorción (Gordon et al., 2022).

g) *Hierro*: la anemia ferropénica es una manifestación extraintestinal común de la enfermedad de Crohn, que frecuentemente afecta el íleon (donde se absorbe el hierro), esta malabsorción es particularmente relevante (Kaitha et al., 2015). Las citocinas inflamatorias, como la interleucina-6 (IL-6), pueden aumentar la producción de hepcidina, una proteína que regula la absorción del hierro y su liberación desde los depósitos en el cuerpo. Un aumento en la hepcidina puede reducir la absorción intestinal de hierro y su liberación desde los depósitos (Krawiec Pac-Kozuchowska, 2014). La inflamación crónica en el intestino puede dañar el tejido intestinal y reducir la capacidad de las células epiteliales del duodeno para absorber el hierro (Mahadea et al., 2021).

h) *Zinc*: los experimentos con animales han demostrado que la deficiencia de zinc agrava la colitis experimental en ratones. El zinc es un cofactor de muchas enzimas necesarias para la reparación de la membrana celular, la proliferación celular, el crecimiento y la función del sistema inmunológico. Su deficiencia se ha asociado con la producción de citocinas proinflamatorias, incluido el TNF α . Su ausencia puede tener un impacto negativo en la función inmunológica, en la disminución de la actividad de las células asesinas naturales y un aumento de la apoptosis de las células B y T, lo que reduce la inmunidad del cuerpo y aumenta el riesgo de inflamación. Aumentar la ingesta de zinc puede reducir el riesgo de desarrollar EC (Wu et al., 2023).

i) *Selenio*: la deficiencia de selenio es común en pacientes con EII, ya que se absorbe principalmente en el intestino delgado. El selenio es un componente esencial de las enzimas antioxidantes y desempeña un papel crucial en la función inmunológica, también está involucrado en la regulación de la inflamación. También puede bloquear algunas de las vías de tumorigénesis predominantes propuestas en el cáncer colorrectal asociado a colitis, y tiene efectos protectores sobre enfermedades intestinales como isquemia mesentérica, mucositis gastrointestinal y úlceras. El selenio favorece la microbiota intestinal protectora, lo que mejora indirectamente el tratamiento de la EII (Moein y Zahedin, 2021).

j) *Cobre*: la absorción principal del cobre ocurre en el intestino delgado, específicamente en el duodeno y el yeyuno. La deficiencia de cobre en pacientes con EII puede tener varias consecuencias para la salud como anemia, problemas

neurológicos, función inmunológica comprometida y trastornos del tejido conectivo. Además, en pacientes con EII con síndrome del intestino corto puede tener secuelas en el sistema circulatorio y del sistema nervioso. El cobre está involucrado en la producción y liberación de citocinas, regulando la respuesta inmunológica y la comunicación entre las células del sistema inmunológico (Wu et al., 2023).

1.6. Funciones de micronutrientes en el sistema inmune, que presentan deficiencias en pacientes con EII

Las personas con EII a menudo enfrentan desafíos nutricionales y pueden experimentar deficiencias de varios micronutrientes. Algunos relacionados con el sistema inmune que pueden presentar deficiencias son:

a) *Vitamina A*: la EII puede afectar la absorción de esta vitamina liposoluble. La vitamina A es esencial para la integridad de las mucosas y la función inmunológica, es necesaria para la diferenciación adecuada de ciertas células del sistema inmunológico, que permite que estas células desempeñen funciones específicas en la respuesta inmunitaria, incluyendo los linfocitos T y las células asesinas naturales (NK). La vitamina A contribuye a la producción de anticuerpos, que son proteínas especializadas que el sistema inmunológico utiliza para identificar y neutralizar patógenos invasores, como bacterias y virus. Además, ayuda a modular la respuesta inflamatoria e influir en la función de células fagocíticas, como los macrófagos, que son células del sistema inmunológico que ingieren y destruyen partículas extrañas y patógenos (Gürbüz y Aktaş, 2022).

b) *Vitamina D*: la absorción de vitamina D puede verse comprometida en personas con EII. La limitada exposición al sol, debido a la fatiga o incomodidad, también contribuye a su deficiencia. Esta vitamina desempeña funciones esenciales en el sistema inmunológico, regulando la respuesta inmunitaria innata y actuando como modulador. Estimula la actividad de los linfocitos T, exhibe propiedades antivirales y puede inhibir la replicación de ciertos virus. Asimismo, favorece la producción de péptidos antimicrobianos en células epiteliales y fagocíticas, fortaleciendo la defensa contra bacterias y patógenos. Además, contribuye a mantener la integridad de las barreras mucosas en el tracto gastrointestinal y respiratorio, siendo esencial para la salud mucosa y la prevención de la entrada de patógenos (Ghaseminejad-Raeini et al., 2023).

c) *Vitamina E*: desempeña un papel importante en el sistema inmunológico gracias a sus propiedades antioxidantes. Al reducir el estrés oxidativo, la vitamina E contribuye a mantener la integridad de las células inmunológicas, previniendo el daño celular. También ayuda a regular la inflamación, a mantener un equilibrio adecuado en la respuesta inmunológica, y tener efectos estimulantes sobre la

actividad de las células asesinas naturales, en la defensa contra las células infectadas y las cancerosas. La vitamina E contribuye a mantener la salud de las membranas mucosas en el tracto respiratorio y gastrointestinal (Lee y Han, 2018).

d) *Vitamina C*: es esencial para la síntesis del colágeno, promoviendo la formación de una barrera cutánea saludable que impide la entrada de patógenos. Además de actuar como antioxidante para neutralizar radicales libres, estimula la función de leucocitos, cruciales en la respuesta inmunológica. Exhibe propiedades antiinflamatorias y regula la producción de citocinas, manteniendo un equilibrio en la respuesta inmunológica. También regenera la vitamina E, elevando los niveles de antioxidantes y mejorando la capacidad del sistema inmunológico frente al estrés oxidativo. Asimismo, facilita la absorción de hierro no hemo, esencial para la formación de glóbulos rojos y la función inmunológica (Mehta et al., 2023).

e) *Hierro*: realiza funciones esenciales en el sistema inmunológico, siendo fundamental para la producción de glóbulos rojos, la función y desarrollo adecuado de los linfocitos, y la actividad de las células fagocíticas como los macrófagos. También participa en procesos clave de la respuesta inmunológica innata. Sin embargo, su deficiencia, así como su exceso, puede tener efectos negativos. La falta de hierro puede debilitar la respuesta inmunológica y aumentar la vulnerabilidad a infecciones, mientras que un aumento puede generar estrés oxidativo y contribuir a la inflamación (Suriawinata y Mehta, 2023).

f) *Zinc*: ejerce un papel crucial en la función inmunológica al ser esencial para diversas células, como linfocitos T, monocitos, neutrófilos y células asesinas naturales, que son fundamentales en la detección y destrucción de patógenos. El zinc también es esencial para mantener la integridad de la barrera cutánea y mucosas, actuando como defensa física contra la entrada de patógenos, y se sugiere que puede tener propiedades antivirales al inhibir la replicación de ciertos virus (Prasada, 2008).

g) *Selenio*: desempeña un papel crucial en el sistema inmunológico al ser un componente importante de enzimas antioxidantes, como el glutatión peroxidasa, que protege las células inmunológicas del daño oxidativo. También regula la respuesta inflamatoria al influir en la expresión de citocinas, promoviendo un equilibrio adecuado para una función inmunológica efectiva. Además, es fundamental para la producción y funcionamiento de los linfocitos T, importantes en la respuesta adaptativa, y se ha relacionado con propiedades antivirales. La deficiencia de selenio está asociada con un mayor riesgo de infecciones virales y puede comprometer la síntesis adecuada de anticuerpos, afectando la respuesta inmunológica (Huang et al., 2012).

h) *Cobre*: es vital para células clave del sistema inmunológico, como los neutrófilos, linfocitos T y B, y macrófagos, necesarios para combatir patógenos. Es cofactor en enzimas antioxidantes, como el superóxido dismutasa, protegiendo las células inmunológicas del daño oxidativo. Además, contribuye a la síntesis de anticuerpos, facilitando su formación. El cobre también mejora la capacidad de los neutrófilos para eliminar patógenos y regula la producción de citocinas, lo que es crucial para mantener un equilibrio adecuado en la respuesta inmunológica (Chillon et al., 2023).

1.7. Deficiencias de micronutrientes durante el contagio por SARS-CoV-2

La relación entre deficiencias nutricionales específicas y el contagio del virus SARS-CoV-2, que causa la enfermedad COVID-19, es un tema complejo y aún en investigación. Las vitaminas y los oligoelementos desempeñan un papel crucial en la inmunomodulación, por lo que se han postulado como una opción terapéutica. Ciertos nutrientes juegan un papel crucial en la salud general y el funcionamiento del sistema inmunológico, que a su vez puede influir en la capacidad del cuerpo para combatir infecciones, incluyendo la del SARS-CoV-2.

Deficiencias de micronutrientes en el contagio con COVID-19:

1) *Vitamina D*: es conocida por su papel en la función inmunológica. Se ha especulado sobre su impacto en la gravedad de la infección por COVID-19. Varios estudios han informado niveles más bajos de vitamina D entre las personas con prueba positiva del SARS-CoV-2 en comparación con aquellas con resultado negativo (Nielsen et al., 2022).

2) *Vitamina C*: disminuye los efectos perjudiciales de la tormenta de citocinas al mejorar la expresión de enzimas antioxidantes. Además, el ascorbato ha mostrado reducir la proliferación de células cancerígenas gracias a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. En el contexto de infecciones respiratorias, la vitamina C puede ayudar a eliminar líquidos de los alvéolos pulmonares, disminuyendo la velocidad a la cual el virus se une a sus células objetivo (Sinnberg et al., 2022).

3) *Zinc*: su deficiencia se ha asociado con consecuencias más graves de la infección por COVID-19, teniendo efectos beneficiosos en la prevención y el tratamiento de esta. Los niveles séricos de zinc significativamente más bajos están asociados con casos graves de COVID-19. En la inflamación excesiva (tormenta de citocinas) que contribuye a la gravedad de la enfermedad, el zinc podría ayudar a modular esta respuesta y reducir la inflamación (Boretti y Banik, 2022).

4) *Selenio*: la falta de selenio se ha vinculado con un mayor riesgo de enfermedades crónicas inflamatorias como el cáncer y trastornos cardiovasculares, debido a que el selenio desempeña un papel importante en la función antioxidante y antiinflamatoria del cuerpo. Algunos estudios sugieren que la carencia de selenio podría ser perjudicial en casos de COVID-19 (Roldán-Bretón et al., 2022).

1.8. Suplementación con micronutrientes para pacientes con EII

La deficiencia de vitaminas se asocia frecuentemente con la EII. Por tanto, la suplementación con vitaminas podría servir como terapia complementaria, pero su efectividad puede variar según el individuo y la naturaleza específica de la enfermedad (Fabisiak et al., 2017). Las personas con EII y restricciones en su dieta tienen una mayor probabilidad de experimentar carencias de vitaminas y minerales. La suplementación con estos micronutrientes ha demostrado ofrecer beneficios. Por ejemplo, dosis elevadas de tiamina oral (vitamina B1) han mostrado mejoras en la fatiga crónica en personas con EII inactiva. Además, la suplementación de vitamina A, cuando se combina con ácido 5-aminosalicílico, puede reducir la inflamación y favorecer la curación de la mucosa intestinal. Otros beneficios incluyen la reducción del estrés oxidativo mediante la incorporación de vitamina C, vitamina E y selenio; así como la mejora de los resultados clínicos al corregir la deficiencia de zinc en pacientes con EII (Wu et al., 2023). La suplementación con vitamina D a largo plazo puede ser eficaz para reducir la incidencia de enfermedades autoinmunes. Durante la pandemia de coronavirus (COVID-19), se descubrió que la vitamina D fue eficaz para atenuar la liberación de citocinas inflamatorias después de una infección viral a través de sus propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias. Además, se ha demostrado que dosis diarias moderadas de vitamina D ralentizan la progresión de la enfermedad de Parkinson y previenen la infección por COVID-19 en los ancianos (Fan et al., 2023).

2. Discusión

Esta investigación sobre EII, como la enfermedad de Crohn (EC) y la colitis ulcerosa (CU), ha observado una serie de síntomas y problemas nutricionales asociados con estas condiciones. La desnutrición es otra preocupación importante en personas con EII, ya que la combinación de malabsorción, pérdida de apetito y de peso afectan la salud general, así como la capacidad de recuperación. Además, los pacientes pueden tener cambios en la dieta para controlar los síntomas, lo que puede llevar a una ingesta insuficiente de nutrientes esenciales. La investigación también ha destacado la importancia de abordar la disbiosis intestinal en pacientes con EII, ya que los desequilibrios en el microbioma intestinal pueden contribuir

a la inflamación crónica a afectar la digestión y la absorción de nutrientes. La microbiota intestinal forma una comunidad diversa que se adapta a las condiciones ambientales y contribuye al bienestar general del organismo, en personas con EII se observan cambios significativos en la composición y función de la microbiota intestinal como la reducción de bacterias con propiedades antiinflamatorias. Estos cambios pueden contribuir a la inflamación crónica característica de las EII, provocando una malabsorción de nutrientes y deficiencias de vitaminas y minerales, comprometiendo la función inmunológica y aumentando la vulnerabilidad a infecciones. La suplementación con vitaminas y minerales específicos puede ser beneficiosa para mejorar la salud inmunológica y prevenir complicaciones relacionadas con la enfermedad. Sin embargo, la efectividad de la suplementación puede variar según el individuo y la naturaleza específica de la enfermedad. Un enfoque integral que incluya una dieta equilibrada, suplementación y manejo médico adecuados puede mejorar los resultados clínicos en pacientes con EII y otras enfermedades inflamatorias.

3. Conclusiones

Las EII pueden causar deficiencias nutricionales por diversas razones vinculadas a la inflamación crónica y la disfunción del sistema gastrointestinal como la malabsorción, inflamación sistémica o disbiosis. Los pacientes con esta enfermedad enfrentan un mayor riesgo de complicaciones relacionadas con COVID-19 debido a la posible deficiencia de micronutrientes esenciales para el adecuado funcionamiento del sistema inmunológico y la regulación inflamatoria, así como por su susceptibilidad a la tormenta de citocinas. Estas deficiencias de micronutrientes pueden debilitar la capacidad del sistema inmunológico para combatir infecciones virales, incluido el SARS-CoV-2, aumentando la vulnerabilidad de los pacientes. Además, la alteración de la microbiota intestinal en las EII tiene implicaciones en la regulación de la respuesta inmunitaria, ya que es crucial en la educación y modulación del sistema inmune. La comprensión de estos síntomas y los problemas nutricionales es esencial para ofrecer un tratamiento integral. Este análisis destaca la necesidad de una atención nutricional completa en pacientes con EII para corregir las deficiencias de nutrientes y mejorar su salud. La optimización de la salud intestinal y la microbiota, junto con una suplementación adecuada de vitaminas y minerales, es clave en el manejo nutricional de las EII.

Referencias

- Abreu y Abreu, A. T., Milke, G. M. P., Arguello, G. A., Carderón, B. A. M., Carmona, R. I., Consuleo, S. A. et al. (2021). Dietary fiber and the microbiota: A narrative review by a group of experts from the Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Revista de Gastroenterología de México* 86(3), 287-304. DOI: 10.1016/j.rgmxen.2021.02.002
- Aguila, E. J. T., Cua, I. H. Y., Fontanilla, J. A. C., Yabut, V. L. M. y Causing, M. F. P. (2020). Gastrointestinal Manifestations of COVID-19: Impact on Nutrition Practices. *Nutrition in Clinical Practice: Official Publication of the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition*, 35(5), 800-805. <https://doi.org/10.1002/ncp.10554>
- Ao, M., Tsuji, H., Shide, K., Kosaka, Y., Noda, A., Inagaki, N. et al. (2017). High prevalence of vitamin B-12 insufficiency in patients with Crohn's disease. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 26(6), 1076-1081. <https://doi.org/10.6133/apjcn.022017.13>
- Baj, J., Karakuła-Juchnowicz, H., Teresiński, G., Buszewicz, G., Ciesielka, M., Sitarz, R. et al. (2020). COVID-19: Specific and Non-Specific Clinical Manifestations and Symptoms: The Current State of Knowledge. *Journal of Clinical Medicine*, 9(6), 1753. <https://doi.org/10.3390/jcm9061753>
- Balestrieri, P., Ribolsi, M., Guarino, M. P. L., Emerenziani, S., Altomare, A. y Cicala, M. (2020). Nutritional Aspects in Inflammatory Bowel Diseases. *Nutrients*, 12(2), 372. <https://doi.org/10.3390/nu12020372>
- Barkas, F., Liberopoulos, E., Kei, A. y Elisaf, M. (2013). Electrolyte and acid-base disorders in inflammatory bowel disease. *Annals of Gastroenterology*, 26(1), 23-28.
- Benech, N. y Sokol, H. (2023). Targeting the gut microbiota in inflammatory bowel diseases: where are we? *Current Opinion in Microbiology*, 74, 102319. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2023.102319>
- Bielefeldt, K., Davis, B. y Binion, D. G. (2009). Pain and inflammatory bowel disease. *Inflammatory Bowel Diseases*, 15(5), 778-788. <https://doi.org/10.1002/ibd.20848>
- Blanck, S. y Aberra, F. (2013). Vitamin d deficiency is associated with ulcerative colitis disease activity. *Digestive Diseases and Sciences*, 58(6), 1698-1702. <https://doi.org/10.1007/s10620-012-2531-7>
- Boretti, A. y Banik, B. K. (2022). Zinc role in Covid-19 disease and prevention [Papel del zinc en la prevención y la enfermedad de COVID-19]. *Vacunas*, 23(2), 147-150. <https://doi.org/10.1016/j.vacune.2022.07.006>
- Boscain, S., Leigh, S. J., Lavelle, A., García-Cabrerizo, R., Lipuma, T., Clarke, G. et al. (2022). Microbiota and body weight control: ¿Weight watchers within? *Molecular Metabolism*, 57, 101427. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2021.101427>
- Carretero, G. J., Mafé, N. M. C., Garrachón, V. F., Escudero, A. E., Maciá, B. E. y Miramontes, G. J. P. (2020). La inflamación, la desnutrición y la infección por SARS-

- CoV-2: una combinación nefasta. *Revista Clínica Española*, 220(8), 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.07.007>
- Chakraborty, R. K. y Burns, B. (2023). *Systemic Inflammatory Response Syndrome*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547669/>
- Chillon, T. S., Demircan, K., Hackler, J., Heller, R. A., Kaghazian, P., Moghaddam, A. et al. (2023). Combined copper and zinc deficiency is associated with reduced SARS-CoV-2 immunization response to BNT162b2 vaccination. *Heliyon*, 9(10), e20919. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e2091>
- Cong, J., Zhou, P. y Zhang, R. (2022). Intestinal Microbiota-Derived Short Chain Fatty Acids in Host Health and Disease. *Nutrients*, 14(9), 1977. <https://doi.org/10.3390/nu14091977>
- Donaldson, G. P., Lee, S. M. y Mazmanian, S. K. (2016). Gut biogeography of the bacterial microbiota. *Nature Reviews. Microbiology*, 14(1), 20-32. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3552>
- Ellis, J. L., Karl, J. P., Oliverio, A. M., Fu, X., Soares, J. W., Wolfe, B. E. et al. (2021). Dietary vitamin K is remodeled by gut microbiota and influences community composition. *Gut Microbes*, 13(1), 1-16. <https://doi.org/10.1080/19490976.2021.1887721>
- Empson, S., Rogers, A. J. y Wilson, J. G. (2022). COVID-19 Acute Respiratory Distress Syndrome: One Pathogen, Multiple Phenotypes. *Critical Care Clinics*, 38(3), 505-519. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2022.02.001>
- Eswayah, A. S., Smith, T. J. y Gardiner, P. H. (2016). Microbial Transformations of Selenium Species of Relevance to Bioremediation. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(16), 4848-4859. <https://doi.org/10.1128/AEM.00877-16>
- Fan, X., Yin, J., Yin, J., Weng, X. y Ding, R. (2023). Comparison of the anti-inflammatory effects of vitamin E and vitamin D on a rat model of dextran sulfate sodium-induced ulcerative colitis. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 25(2), 98. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.11797>
- Foolchand, A., Ghazi, T. y Chuturgoon, A. A. (2022). Malnutrition and Dietary Habits Alter the Immune System Which May Consequently Influence SARS-CoV-2 Virulence: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(5), 2654. <https://doi.org/10.3390/ijms23052654>
- Gao, Q., Hu, Y., Dai, Z., Xiao, F., Wang, J. y Wu, J. (2020). The epidemiological characteristics of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in Jingmen, Hubei, China. *Medicine*, 99(23), e20605. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000020605>
- Ghaseminejad-Racini, A., Ghaderi, A., Sharafi, A., Nematollahi-Sani, B., Moossavi, M., Derakhshani, A. et al. (2023). Immunomodulatory actions of vitamin D in various immune-related disorders: a comprehensive review. *Frontiers in Immunology*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.950465>

- Gieryńska, M., Szulc-Dąbrowska, L., Struzik, J., Mielcarska, M. B. y Gregorczyk-Zboroch, K. P. (2022). Integrity of the Intestinal Barrier: The Involvement of Epithelial Cells and Microbiota-A Mutual Relationship. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 12(2), 145. <https://doi.org/10.3390/ani12020145>
- Gordon, B. L., Galati, J. S., Yang, S., Longman, R. S., Lukin, D., Scherl, E. J. et al. (2022). Prevalence and factors associated with vitamin C deficiency in inflammatory bowel disease. *World Journal of Gastroenterology*, 28(33), 4834-4845. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i33.4834>
- Gürbüz, M. y Aktaç, S. (2022). Understanding the role of vitamin A and its precursors in the immune system. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 36(2), 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.nupar.2021.10.002>
- Hormati, A., Arezoumand, A., Dokhanchi, H., Pezeshgi, M. y Ahmadvpour, S. (2022). Inflammatory Bowel Disease Management during the COVID-19 Pandemic: A Literature Review. *Middle East journal of digestive diseases*, 14(2), 155-166. <https://doi.org/10.34172/mejdd.2022.269>
- Hossain, K. S., Amarasena, S. y Mayengbam, S. (2022). B Vitamins and Their Roles in Gut Health. *Microorganisms*, 10(6), 1168. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061168>
- Hu, B., Guo, H., Zhou, P. y Shi, Z. L. (2021). Characteristics of SARS-CoV-2 and COVID-19. *Nature Reviews. Microbiology*, 19(3), 141-154. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00459-7>.
- Huang, Z., Liu, Y., Qi, G., Brand, D. y Zheng, S. G. (2018). Role of Vitamin A in the Immune System. *Journal of Clinical Medicine*, 7(9), 258. <https://doi.org/10.3390/jcm7090258>
- Huang, Z., Rose, A. H. y Hoffmann, P. R. (2012). The role of selenium in inflammation and immunity: from molecular mechanisms to therapeutic opportunities. *Antioxidants & Redox Signaling*, 16(7), 705-743. <https://doi.org/10.1089/ars.2011.4145>
- Hrncir, T. (2022). Gut Microbiota Dysbiosis: Triggers, Consequences, Diagnostic and Therapeutic Options. *Microorganisms*, 10(3), 578. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030578>
- Jabłońska, B. y Mrowiec, S. (2023). Nutritional Status and Its Detection in Patients with Inflammatory Bowel Diseases. *Nutrients*, 15(8), 1991. <https://doi.org/10.3390/nut15081991>
- Jairath, V. y Feagan, B. (2020). Global burden of inflammatory bowel disease. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 5(1), 2-3. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(19\)30358-9](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(19)30358-9)

- Kaitha, S., Bashir, M. y Ali, T. (2015). Iron deficiency anemia in inflammatory bowel disease. *World Journal of Gastrointestinal Pathophysiology*, 6(3), 62-72. <https://doi.org/10.4291/wjgp.v6.i3.62>
- Kilby, K., Mathias, H., Boisvenue, L., Heisler, C. y Jones, J. L. (2019). Micronutrient Absorption and Related Outcomes in People with Inflammatory Bowel Disease: A Review. *Nutrients*, 11(6), 1388. <https://doi.org/10.3390/nu11061388>
- Krawiec, P. y Pac-Kozuchowska, E. (2014). Rola hepcydiny w metabolizmie żelaza w przebiegu nieswoistych zapaleń jelit [The role of hepcidin in iron metabolism in inflammatory bowel diseases]. *Postępy Higieny i Medycyny Doswiadczałnej*, 68, 936-943. <https://doi.org/10.5604/17322693.1111365>
- Ley, R. E., Peterson, D. A. y Gordon, J. I. (2006). Ecological and evolutionary forces shaping microbial diversity in the human intestine. *Cell*, 124(4), 837-848. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.02.017>
- Loddo, I. y Romano, C. (2015). Inflammatory Bowel Disease: Genetics, Epigenetics, and Pathogenesis. *Frontiers in Immunology*, 6, 551. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00551>
- Loftus, E. V., Jr. (2011). Progress in the diagnosis and treatment of inflammatory bowel disease. *Gastroenterology & Hepatology*, 7(2 Suppl 3), 3-16.
- Luu, M. y Visekruna, A. (2019). Short-chain fatty acids: Bacterial messengers modulating the immunometabolism of T cells. *European Journal of Immunology*, 49(6), 842-848. <https://doi.org/10.1002/eji.201848009>
- Lucafò, M., Curci, D., Franzin, M., Decorti, G. y Stocco, G. (2021). Inflammatory Bowel Disease and Risk of Colorectal Cancer: An Overview From Pathophysiology to Pharmacological Prevention. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 772101. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.772101>
- Marchesi, J. R. (2010). Prokaryotic and eukaryotic diversity of the human gut. *Advances in Applied Microbiology*, 72, 43-62. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(10\)72002-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(10)72002-5)
- Marti, J. V. M., Mondrego, J., Gomez-Garre, D., Manucha, W. y De las Hereas, N. (2023). Gut Microbiota Dysbiosis in COVID-19: Modulation and Approaches for Prevention and Therapy. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12249; <https://doi.org/10.3390/ijms241512249>
- McDowel, I. C., Farooq, U. y Haseeb, M. (2023). *Inflammatory Bowel Disease*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470312/>
- Mahadea, D., Adamczewska, E., Ratajczak, A. E., Rychter, A. M., Zawada, A., Eder, P. et al. (2021). Iron Deficiency Anemia in Inflammatory Bowel Diseases-A Narrative Review. *Nutrients*, 13(11), 4008. <https://doi.org/10.3390/nu13114008>

- Mehta, N., Pokharna, P. y Shetty, S. R. (2023). Unwinding the potentials of vitamin C in COVID-19 and other diseases: An updated review. *Nutrition and Health*, 29(3), 415-433. <https://doi.org/10.1177/02601060221139628>
- Moein, A. y Zahedin, K. (2021). The rationale for selenium supplementation in inflammatory bowel disease: A mechanism-based point of view. *Nutrition*, 85, 1111153. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2021.111153>
- Morowitz, M. J., Carlisle, E. M. y Alverdy, J. C. (2011). Contributions of intestinal bacteria to nutrition and metabolism in the critically ill. *The Surgical Clinics of North America*, 91(4), 771-785. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2011.05.001>
- Morshedzadeh, N. (2022). Nutritional management of inflammatory bowel disease; an overview of the evidences. *Sciendirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871402122000546>
- Nielsen, N. M., Junker, T. G., Boelt, S. G., Cohen, A., Munger, K., Stenager, E. et al. (2022). Estado de vitamina D y gravedad de COVID-19. *Representante Científico*, 12, 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21513-9>
- Nocerino, A., Nguyen, A., Agrawal, M., Mone, A., Lakhani, K. y Swaminath, A. (2020). Fatigue in Inflammatory Bowel Diseases: Etiologies and Management. *Advances in Therapy*, 37(1), 97-112. <https://doi.org/10.1007/s12325-019-01151-w>
- Ogunrinola, G. A., Oyewale, J. O., Oshamika, O. O. y Olashinde, G. I. (2020). The Human Microbiome and Its Impacts on Health. *International Journal of Microbiology*, 2020(1), 8045646. <https://doi.org/10.1155/2020/8045646>
- Orchard, T. R. (2012). Management of arthritis in patients with inflammatory bowel disease. *Gastroenterology & Hepatology*, 8(5), 327-329.
- Pickard, J. M., Zeng, M. Y., Caruso, R. y Núñez, G. (2017). Gut microbiota: Role in pathogen colonization, immune responses, and inflammatory disease. *Immunological Reviews*, 279(1), 70-89. <https://doi.org/10.1111/imr.12567>
- Prasad A. S. (2008). Zinc in human health: effect of zinc on immune cells. *Molecular Medicine*, 14(5-6), 353-357. <https://doi.org/10.2119/2008-00033.Prasad>
- Ramos, S. y Martín, M.A. (2021). Impact of diet on gut microbiota. *Current Opinion in Food Science*, 37, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.006>
- Ranasinghe, I. R. y Hsu, R. (2023). Enfermedad de Crohn. *StatPearls Publishing*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK436021/>
- Ratajczak, A. E., Szymczak-Tomczak, A., Rychter, A. M., Zawada, A., Dobrowolska, A. y Krela-Kaźmierczak, I. (2021). Does Folic Acid Protect Patients with Inflammatory Bowel Disease from Complications? *Nutrients*, 13(11), 4036. <https://doi.org/10.3390/nu13114036>

- Ridaura, V. K., Faith, J. J., Rey, F. E., Cheng, J., Duncan, A. E., Kau, A. L. et al. (2013). Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice. *Science*, 341(6150), 1241214. <https://doi.org/10.1126/science.1241214>
- Roldán-Bretón, N. R., Capuchino-Suárez, A. G., Mejía-León, M. E., Olvera-Sandoval, C., Lima-Sánchez, D. N. (2023). Selenium serum levels in patients with SARS-CoV-2 infection: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Nutrition Science*, 12, e86. DOI: 10.1017/jns.2023.69.
- Roncoroni, L., Gori, R., Elli, L., Tontini, G. E., Doneda, L., Norsa, L. et al. (2022). Nutrition in Patients with Inflammatory Bowel Diseases: A Narrative Review. *Nutrients*, 14(4), 751. <https://doi.org/10.3390/nu14040751>
- Rosen, M. J., Dhawan, A. y Saeed, S. A. (2015). Inflammatory Bowel Disease in Children and Adolescents. *JAMA pediatrics*, 169(11), 1053-1060. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2015.1982>
- Rowland, I., Gibson, G., Heinken, A., Scott, K., Swann, J., Thiele, I. et al. (2018). Gut microbiota functions: metabolism of nutrients and other food components. *European Journal of Nutrition*, 57(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1445-8>
- Rusu, I. G., Suharoschi, R., Vodnar, D. C., Pop, C. R., Socaci, S. A., Vulturar, R. et al. (2020). Iron Supplementation Influence on the Gut Microbiota and Probiotic Intake Effect in Iron Deficiency-A Literature-Based Review. *Nutrients*, 12(7), 1993. <https://doi.org/10.3390/nu12071993>
- Saviano, A., Brigida, M., Petruzzello, C., Zanza, C., Candelli, M., Morabito Loprete, M. R. et al. (2023). Intestinal Damage, Inflammation and Microbiota Alteration during COVID-19 Infection. *Biomedicines*, 11(4), 1014. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11041014>
- Scaldaferri, F., Pizzoferrato, M., Lopetuso, L.R., Musca, T., Ingravalle, F., Sicignano, L. L. et al. (2017). Nutrition and IBD: Malnutrition and/or Sarcopenia? A Practical Guide. *Gastroenterology Research and Practice*, 2017, 8646495. <https://doi.org/10.1155/2017/8646495>
- Scalzo, N. y Ungaro, R. C. (2023). Managing IBD in the COVID-19 era. *Therapeutic Advances in Gastroenterology*, 16, 17562848231176450. <https://doi.org/10.1177/17562848231176450>
- Shahbaz, U., Fatima, N., Basharat, S., Bibi, A., Yu, X., Hussain, M. I. et al. (2022). Role of vitamin C in preventing of COVID-19 infection, progression and severity. *AIMS Microbiology*, 8(1), 108-124. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2022010>
- Shan, Y., Lee, M. y Chang, E. B. (2022). The Gut Microbiome and Inflammatory Bowel Diseases. *Annual Review of Medicine*, 73, 455-468. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-042320-021020>

- Shen, Y., Zhu, H., Zhou, L., Zheng, Y., Zhang, Z., Xie, Y. et al. (2023). In inflammatory bowel disease and extraintestinal manifestations: What role does microbiome play? *Engineered Regeneration*, 4(4), 337-348. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2023.04.005>
- Sinnberg, T., Lichtensteiger, C., Hill-Mündel, K., Leischner, C., Niessner, H., Busch, C. et al. (2022). Vitamin C Deficiency in Blood Samples of COVID-19 Patients. *Antioxidants*, 11(8), 1580. <https://doi.org/10.3390/antiox11081580>
- Soares-Mota, M., Silva, T. A., Gomes, L. M., Pinto, M. A., Mendonça, L. M., Farias, M. L. et al. (2015). High prevalence of vitamin A deficiency in Crohn's disease patients according to serum retinol levels and the relative dose-response test. *World Journal of Gastroenterology*, 21(5), 1614-1620. <https://doi.org/10.3748/wjgv21.i5.1614>
- Sukik, A., Alalwani, J. y Ganji, V. (2023). Vitamin D, Gut Microbiota, and Cardiometabolic Diseases-A Possible Three-Way Axis. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 940. <https://doi.org/10.3390/ijms24020940>
- Sung, C. C., Liao, M. T., Lu, K. C. y Wu, C. C. (2012). Role of vitamin D in insulin resistance. *Journal of Biomedicine & Biotechnology*, 2012, 634195. <https://doi.org/10.1155/2012/634195>
- Suriawinata, E. y Mehta, K. J. (2023). Iron and iron-related proteins in COVID-19. *Clinical and Experimental Medicine*, 23(4), 969-991. <https://doi.org/10.1007/s10238-022-00851-y>
- Thursby, E. y Juge, N. (2017). Introduction to the human gut microbiota. *The Biochemical Journal*, 474(11), 1823-1836. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160510>
- Ungaro, R., Mehandru, S., Allen, P. B., Peyrin-Biroulet, L. y Colombel, J. F. (2017). Ulcerative colitis. *Lancet*, 389(10080), 1756-1770. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32126-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32126-2)
- Valentini, L. y Schulzke, J. D. (2011). Mundane, yet challenging: the assessment of malnutrition in inflammatory bowel disease. *European Journal of Internal Medicine*, 22(1), 13-15. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2010.07.021>
- Vernia, F., Valvano, M., Longo, S., Cesaro, N., Viscido, A. y Latella, G. (2022). Vitamin D in Inflammatory Bowel Diseases. Mechanisms of Action and Therapeutic Implications. *Nutrients*, 14(2), 269. <https://doi.org/10.3390/nu14020269>
- Wallace, K. L., Zheng, L. B., Kanazawa, Y. y Shih, D. Q. (2014). Immunopathology of inflammatory bowel disease. *World Journal of Gastroenterology*, 20(1), 6-21. <https://doi.org/10.3748/wjgv20.i1.6>
- Weidinger, C., Nabil, H. A., Glauben, R. y Siegmund, B. (2021). COVID-19 from mucosal immunology to IBD patients. *Mucosal Immunology*, 14(3), 566-573. <https://doi.org/10.1038/s41385-021-00384-9>
- Wu, H. J. y Wu, E. (2012). The role of gut microbiota in immune homeostasis and autoimmunity. *Gut Microbes*, 3(1), 4-14. <https://doi.org/10.4161/gmic.19320>

- Wu, L., Tang, Z., Chen, H., Ren, Z., Ding, Q., Liang, K. et al. (2021). Mutual interaction between gut microbiota and protein/amino acid metabolism for host mucosal immunity and health. *Animal Nutrition*, 7(1), 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.11.003>
- Wu, L., Liu, Ch. y Dong, W. (2023). Adjunctive therapeutic effects of micronutrient supplementation in inflammatory bowel disease. *Frontiers in Immunology*, 14, 1143123. [10.3389/fimmu.2023.1143123](https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1143123)
- Yamamoto, E. A. y Jørgensen, T. N. (2020). Relationships Between Vitamin D, Gut Microbiome, and Systemic Autoimmunity. *Frontiers in Immunology*, 10, 3141. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.03141>
- Yamamoto-Furusho, J. K., Bosques-Padilla, F. J., Charúa-Guindic, L., Cortés-Espinosa T., Miranda-Cordero, R. M., Saez, A. et al. (2020). Epidemiología, carga de la enfermedad y tendencias de tratamiento de la enfermedad inflamatoria intestinal en México. *Revista de Gastroenterología de México*, 85(3), 246-256. (<http://www.revistagastroenterologiamexico.org/es-epidemiologia-carga-enfermedad-tendencias-tratamiento-articulo-S0375090620300100-aff0030>)
- Yong-Hua, S., Hao, Z., Lin, Z., Yan-Qing, Z., Zhan, Z., Ying, X. et al. (2023). In inflammatory bowel disease and extraintestinal manifestations: What role does microbiome play? *Engineered Regeneration*, 4(4), 337-348. <https://doi.org/10.1016/j.engreg.2023.04.005>
- Yoo, J. Y., Groer, M., Dutra, S. V. O., Sarkar, A. y McSkimming, D. I. (2020). Gut Microbiota and Immune System Interactions. *Microorganisms*, 8(10), 1587. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101587>
- Zabetakis, I., Lordan, R., Norton, C. y Tsoupras, A. (2020). COVID-19: The Inflammation Link and the Role of Nutrition in Potential Mitigation. *Nutrients*, 12(5), 1466. <https://doi.org/10.3390/nu12051466>
- Zenlea, T. y Peppercorn, M. A. (2014). Immunosuppressive therapies for inflammatory bowel disease. *World Journal of Gastroenterology*, 20(12), 3146-3152. <https://doi.org/10.3748/wjg.v20.i12.3146>
- Zhao, Q. y Elson, C.O. (2018). Adaptive immune education by gut microbiota antigens. *Immunology*, 154(1), 28-37. <https://doi.org/10.1111/imm.12896>
- Zhao, L., Zhang, F., Ding, X., Wu, G., Lam, Y. Y., Wang, X. et al. (2018). Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes. *Science*, 359(6380), 1151-1156. <https://doi.org/10.1126/science.aao5774>
- Zheng, D., Liwinski, T. y Elinav, E. (2020). Eteraction between microbiota and immunity in health and disease. *Cell Research*, 30, 492-506 <https://doi.org/10.1038/s41422-020-0332-7>

Algunas obras del mismo coordinador:

- *Manual de prácticas de Laboratorio de Tecnología de Alimentos I*
- *El recurso pesquero de Tamaulipas como potencial de soberanía alimentaria*
- *Aprovechamiento de recursos pesqueros*
- *Aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios I*
- *Aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios II*
- *Aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios III*
- *Aprovechamiento de la jaiba azul: (Callinectes sapidus) en la Laguna Madre de Tamaulipas*

Consulta estos títulos dentro del catálogo de Libros UAT del Consejo de Publicaciones en el siguiente enlace:



<https://libros.uat.edu.mx>



<https://publicaciones.uat.edu.mx>

Equipo editorial

Coordinación: Venancio Vanoye Eligio

Gestión y administración: Jessica Abigail Rodríguez Tinajero, María Teresa Maldonado Sada

Revisión y corrección de estilo: José Luis Énder Velarde García, Jorge Alberto Vázquez Herrera

Diseño y maquetación: Erika González Navarro, Wendy Castillo Cruz, Lorena E. Cortez Rodríguez

Los nutrientes en la prevención y el tratamiento del COVID-19
de Rocío Margarita Uresti Marín, Gonzalo Velázquez
de la Cruz, coordinadores, publicado por la Universidad
Autónoma de Tamaulipas y Editorial Fontamara
en marzo de 2025. La revisión y diseño editorial
correspondieron al Consejo de Publicaciones UAT.

La alimentación es la primera línea de defensa contra las enfermedades. En un mundo donde los virus y las infecciones representan un desafío constante, la ciencia ha demostrado que ciertos nutrientes desempeñan un papel clave en el fortalecimiento del sistema inmunológico.

La pandemia de COVID-19 puso en evidencia la importancia de fortalecer las defensas naturales. A partir de los más recientes hallazgos científicos, esta obra explora el papel esencial de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos en la prevención y tratamiento de infecciones virales. Mediante un análisis detallado y accesible, conocerás cómo estos nutrientes pueden potenciar la respuesta inmune y reducir el impacto de enfermedades infecciosas.

Dirigido a profesionales de la salud, investigadores y cualquier persona interesada en optimizar su bienestar, este libro ofrece una guía práctica respaldada por la ciencia.

Los autores, especialistas en nutrición y tecnología de alimentos, han dedicado su carrera al estudio de la relación entre la alimentación y la salud. Con años de experiencia en docencia e investigación, presentan en esta obra un enfoque científico y aplicable sobre el poder de los nutrientes en la protección contra enfermedades infecciosas.

ISBN UAT: 978-607-8888-75-7

ISBN Fontamara: 978-607-736-979-0

