

RECONFIGURANDO LA MEDICINA: NUEVOS ENFOQUES CIENTÍFICOS, TECNOLÓGICOS Y PEDAGÓGICOS PARA EL SIGLO XXI



Autores:

Katherine Lozada Márquez

María Belén Vanegas Yaguana

Valentina Rodríguez Parco

Víctor Chamba Pilay

Gabriela Espinosa Arreaga

Rocío Alvarado Alvarado

Jaime Espinosa Izquierdo

María Touriz Bonifaz



LETRAPRO
EDITORIAL CIENTÍFICA

ISBN: 978-9942-7312-9-6



9 789942 731296

RECONFIGURANDO LA MEDICINA: NUEVOS ENFOQUES CIENTÍFICOS, TECNOLÓGICOS Y PEDAGÓGICOS PARA EL SIGLO XXI

Autores:

Katherine Lozada Márquez
María Belén Vanegas Yaguana
Valentina Rodríguez Parco
Víctor Chamba Pilay
Gabriela Espinosa Arreaga
Rocío Alvarado Alvarado
Jaime Espinosa Izquierdo
María Touriz Bonifaz



Publicado por Editorial LETRAPRO

Ecuador, Daule, Av. León Febres Cordero, Urb. La Rioja.

Email: info@letrapro.com

<https://letrapro.com/>

© 2025 por Autores y Editorial LETRAPRO.

Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No 726

ISBN: 978-9942-7312-9-6

DOI: <https://doi.org/10.62308/edle1014>

Autores:

- © Katherine Lozada Márquez
- © María Belén Vanegas Yaguana
- © Valentina Rodríguez Parco
- © Víctor Chamba Pilay
- © Gabriela Espinosa Arreaga
- © Rocío Alvarado Alvarado
- © Jaime Espinosa Izquierdo

- © María Touriz Bonifaz

Los contenidos de este libro pueden ser descargados, reproducidos difundidos e impresos con fines de estudio, investigación y docencia o para su utilización en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca adecuadamente a los autores como fuente y titulares de los derechos de propiedad intelectual, sin que ello implique en modo alguno que aprueban las opiniones, productos o servicios resultantes. En el caso de contenidos que indiquen expresamente que proceden de terceros, deberán dirigirse a la fuente original indicada para gestionar los permisos.

Cada uno de los textos de la Editorial LETRAPRO, han sido sometido a un proceso de evaluación por pares académicos antes de su publicación. Este trabajo se realizó bajo el sello editorial LETRAPRO con registro editorial No 726, registrado en la Cámara ecuatoriana del libro.

2025 Publicaciones Editorial LETRAPRO

Guayaquil – Ecuador

info@letrapro.com

<https://letrapro.com/>

Aviso Legal:

La información presentada, así como el contenido, fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias de este manuscrito es de exclusiva responsabilidad del/los autor/es y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Editorial LETRAPRO.



Derechos de autor ©

Este trabajo tiene licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



AUTORES

Katherine Lozada Márquez
Junta de Beneficencia de Guayaquil
© <https://orcid.org/0000-0002-5297-3168>

María Belén Vanegas Yaguana
Coordinación Zonal 8, Ministerio de Salud Pública
© <https://orcid.org/0009-0004-4841-6248>

Valentina Rodríguez Parco
Hospital General IESS Babahoyo
© <https://orcid.org/0009-0004-1987-4186>

Víctor Chamba Pilay
Universidad de Guayaquil
© <https://orcid.org/0009-0002-0103-3907>

Gabriela Espinosa Arreaga
Universidad de Guayaquil
© <https://orcid.org/0000-0001-9360-9015>

Rocío Alvarado Alvarado
Universidad de Guayaquil
© <https://orcid.org/0009-0009-9296-9890>

Jaime Espinosa Izquierdo
Universidad de Guayaquil
© <https://orcid.org/0000-0001-6842-8626>

María Touriz Bonifaz
Universidad de Guayaquil
© <https://orcid.org/0000-0002-8986-8011>

ÍNDICE

Introducción.....	1
Capítulo I: La crisis de la medicina actual: ¿Por qué necesitamos un nuevo paradigma?	4
Introducción	4
Cambio de paradigma en medicina.....	5
Incremento de enfermedades crónicas no transmisibles	7
Resistencia a los antimicrobianos	11
Costos insostenibles de los sistemas de salud.	13
Costos en los sistemas de salud.....	15
Estructura de costos en los Sistemas de Salud del Ecuador	16
Puntos claves.....	20
Key Relevant Points.....	21
Referencias	23
Capítulo II: Genómica y Epigenética: Más allá del ADN	28
Introducción	28
Genómica y envejecimiento: La inestabilidad como eje central	30
Telómeros y epigenética: Un equilibrio frágil.....	31
Daño genómico y reparación, modificaciones que rigen el destino celular	32
Metilación del ADN: Del cronómetro al reloj biológico	32
ARNs no codificantes: Reguladores ocultos de la longevidad	33
Hacia una medicina integrativa: Genómica, epigenética y longevidad	34
Secuenciación de nueva generación (NGS) y medicina predictiva.....	35
Aplicaciones clínicas: Del diagnóstico a la terapia dirigida.....	37
Polimorfismos de Nucleótido Simple (SNPs) y su impacto en farmacogenómica	38
Puntos claves.....	39
Key Relevant Points.....	40

Referencias:.....	43
Capítulo III: Microbioma Humano: El ecosistema invisible.....	47
Introducción	47
Composición del microbioma humano.....	48
Relación microbioma-intestino-cerebro (eje gut-brain).....	53
Vías de Comunicación en el Eje Microbioma-Intestino-Cerebro.....	55
Disbiosis y su Asociación con Patologías Psiquiátricas, Neurológicas y Metabólicas	56
Probióticos y prebióticos en disbiosis	59
Trasplante de Microbiota Fecal (TMF)	60
Bacterias modificadas genéticamente.....	61
Puntos claves.....	64
Referencias	68
Capítulo IV: Inteligencia Artificial en el Diagnóstico y Tratamiento Médico.....	72
Introducción	72
Historia de la Inteligencia Artificial en la Medicina.....	74
Inteligencia Artificial en el Ámbito de la Salud: Fundamentos	75
Clasificación de los Enfoques de IA.....	76
Aplicaciones en Diagnóstico Médico	77
Inteligencia Artificial en Diagnóstico por Imágenes	78
Inteligencia Artificial en la Medicina Personalizada: Transformación del Paradigma Terapéutico	80
Cirugía Robótica e Inteligencia Artificial: Hacia una Nueva Era Quirúrgica.....	82
Puntos relevantes	85
Relevant Points	85
Referencias:.....	87

Capítulo V: Metodologías de Enseñanza-Aprendizaje en Farmacovigilancia	92
Introducción	92
Relevancia de la farmacovigilancia en la formación de profesionales de la salud	93
Importancia en la formación de profesionales de la salud.....	93
Metodologías activas en el área de la salud: Aplicaciones en la enseñanza de la farmacovigilancia	95
Evaluación del aprendizaje	99
Recomendaciones para la Práctica Educativa	101
Conclusión.....	102
Puntos relevantes	104
Key Points	105
Referencias bibliográficas	105

Introducción

Desde tiempos inmemoriales, la humanidad ha intentado comprender, prevenir y tratar las enfermedades a través de enfoques generalizados que se basaban en la observación empírica, la experiencia acumulada y, posteriormente, en el análisis estadístico de grandes poblaciones. Este modelo ha permitido establecer patrones comunes de salud y enfermedad, contribuyendo al desarrollo de protocolos médicos estandarizados que, en muchos casos, han salvado millones de vidas. Sin embargo, una de las características más notables de la especie humana es su individualidad. Cada ser humano constituye una combinación irrepetible de factores biológicos, psicológicos, ambientales y sociales que determinan su modo de enfermar y de responder a los tratamientos. Esta diversidad explica por qué un medicamento puede resultar altamente eficaz en ciertos pacientes, mientras que en otros ocasiona efectos adversos o carece de utilidad clínica.

La medicina tradicional, fundamentada en la evidencia obtenida a partir de estudios poblacionales, ha alcanzado grandes logros en la prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas, crónicas y degenerativas. Sin embargo, sus limitaciones se tornan evidentes frente a patologías complejas como el cáncer, las enfermedades autoinmunes o los trastornos neurodegenerativos, donde las variaciones genéticas y moleculares desempeñan un papel crucial en la evolución clínica y en la respuesta terapéutica. Este escenario ha impulsado el surgimiento de un nuevo paradigma: la medicina personalizada o de precisión. Este enfoque busca adaptar la atención médica a las particularidades biológicas de cada individuo, optimizando la eficacia terapéutica, reduciendo la toxicidad de los fármacos y favoreciendo la prevención temprana.

El desarrollo de la medicina personalizada ha sido posible gracias a los avances tecnológicos, especialmente en la secuenciación masiva de nueva generación (NGS). Esta técnica ha democratizado el acceso al conocimiento genómico, que antes era exclusivo de laboratorios de investigación de alto costo. Actualmente, la identificación de mutaciones específicas asociadas a predisposición genética o resistencia farmacológica se ha convertido

en una herramienta indispensable en la práctica clínica. Un ejemplo paradigmático proviene del campo de la oncología: el análisis genómico de tumores realizado por instituciones como el National Cancer Institute (NCI) en Estados Unidos ha permitido diseñar terapias dirigidas que aumentan la supervivencia global y mejoran la calidad de vida de los pacientes, minimizando los efectos secundarios derivados de los tratamientos convencionales como la quimioterapia inespecífica.

No obstante, la medicina personalizada no se limita al estudio del genoma. Áreas complementarias como la proteómica, el metaboloma y el microbioma están revolucionando el entendimiento integral del ser humano. La proteómica, por ejemplo, permite analizar cómo la expresión de proteínas varía según el estado fisiológico o patológico, ofreciendo marcadores diagnósticos y pronósticos más precisos. De igual manera, el metaboloma brinda información sobre los procesos bioquímicos en tiempo real, lo que facilita la identificación de alteraciones metabólicas tempranas antes de que se manifieste la enfermedad. En cuanto al microbioma, investigaciones del Instituto de Salud Carlos III en España han demostrado que la composición y diversidad de la flora intestinal influyen de manera significativa en el desarrollo de enfermedades inflamatorias, metabólicas e incluso psiquiátricas, subrayando la interrelación entre genética, ambiente y estilo de vida.

El impacto de este enfoque es transformador. La medicina de precisión no solo reconfigura los protocolos clínicos, sino que también obliga a replantear los modelos de investigación, de regulación sanitaria y de ética biomédica. La privacidad de los datos genómicos, la equidad en el acceso a estas tecnologías de alto costo y la necesidad de formar profesionales de la salud en bioinformática y genética clínica representan desafíos que requieren respuestas urgentes y globales. Al mismo tiempo, este paradigma genera nuevas oportunidades para la farmacogenómica, disciplina que estudia la interacción entre los genes y los medicamentos, contribuyendo al diseño de tratamientos individualizados que maximicen la eficacia y minimicen los riesgos.

En definitiva, nos encontramos en un punto de inflexión en la historia de la medicina. Lo que hace apenas unas décadas parecía ciencia ficción es hoy una realidad en constante evolución, respaldada por grandes proyectos internacionales como el 100,000 Genomes Project en el Reino Unido o el All of Us Research Program en Estados Unidos, que buscan integrar información genética, clínica y ambiental para transformar la atención sanitaria. La medicina personalizada no solo promete tratamientos más eficaces, sino que también redefine la relación médico-paciente, promoviendo una atención verdaderamente centrada en la individualidad.

En un futuro cercano, la prevención y el tratamiento dejarán de depender exclusivamente de estadísticas poblacionales y se fundamentarán en un conocimiento profundo, holístico y dinámico de la biología de cada persona. Este cambio inaugura una era en la que la medicina será predictiva, preventiva, personalizada y participativa, abriendo el camino hacia una salud más humana, equitativa y sostenible.

CAPÍTULO I:

La crisis de la medicina actual: ¿Por qué necesitamos un nuevo paradigma?

Katherine Lozada Márquez

Junta de Beneficencia de Guayaquil

<https://orcid.org/0000-0002-5297-3168>



Introducción

La sociedad del siglo XXI afronta grandes retos que plantean dilemas éticos y morales en el campo de la salud. Los avances tecnológicos, la globalización, el envejecimiento de la población, la aparición de enfermedades crónicas, el surgimiento de nuevas enfermedades infecciosas y la emergencia de resistencias a los antibióticos son ejemplos de la necesidad de replantear los métodos y principios con que abordamos la enfermedad y la atención al paciente. Además, los costes crecientes de la asistencia sanitaria, opuestos a recursos limitados, han motivado crisis económicas crónicas en muchos estados. Todo ello exige un profundo debate social para hallar nuevos planteamientos. (Yataco-Wilcas et al.2023)

La medicina ha evolucionado significativamente a lo largo de los siglos, pero en la actualidad enfrenta una crisis que pone en evidencia sus limitaciones. La fragmentación del conocimiento, el énfasis excesivo en la tecnología sin un enfoque holístico y la mercantilización de la salud han generado un sistema que, si bien ha logrado avances notables, no responde adecuadamente a las necesidades individuales de los pacientes. La solución radica en la adopción de un nuevo paradigma que integre una visión más amplia, interdisciplinaria y centrada en la persona (Grémy, 1984).

El modelo actual de medicina se basa en un enfoque reduccionista, donde la enfermedad es tratada de manera fragmentada sin considerar las interacciones entre los distintos sistemas del cuerpo humano ni los factores ambientales y sociales que influyen en la salud (Grémy, 1983). Este paradigma ha permitido avances en el tratamiento de enfermedades agudas y ha desarrollado una impresionante capacidad diagnóstica, pero ha fallado en la prevención y manejo de enfermedades crónicas, que representan la mayor carga para los sistemas de salud en la actualidad (Sa, 2000).

Además, la relación médico-paciente se ha visto afectada por la excesiva burocratización y el uso indiscriminado de tecnología diagnóstica, lo que ha llevado a una deshumanización de la atención sanitaria (Vasseva-Dikova, 2022).

Para superar estas limitaciones, es necesario adoptar un nuevo paradigma basado en la medicina de precisión, la biología de sistemas y un enfoque más holístico de la salud. La medicina de precisión permite adaptar los tratamientos a las características genéticas, epigenéticas y metabólicas de cada paciente, optimizando la eficacia de las intervenciones y reduciendo los efectos adversos (Dennis, 2016).

Además, la biología de sistemas permite analizar el cuerpo humano como un conjunto interconectado en lugar de una suma de órganos independientes. Este enfoque reconoce la influencia del microbioma, el entorno y la alimentación en la salud, lo que abre la puerta a estrategias terapéuticas más eficaces (Sa, 2000).

Asimismo, se requiere una transformación en la educación médica, incorporando disciplinas como la psicología evolutiva, la ecología de la salud y la informática médica. Esto permitiría formar profesionales con una visión más amplia y menos mecanicista de la salud (Grémy, 1983).

Cambio de paradigma en medicina

La crisis de la medicina actual exige un cambio de paradigma que trascienda el enfoque reduccionista y fragmentado, y adopte una visión más integradora y personalizada. La combinación de la medicina de precisión, la biología de sistemas y un enfoque holístico de la salud permitirá una atención más efectiva y humana, respondiendo a los desafíos del siglo XXI.

En realidad, no hay sino dos tipos de ciencia: la que trata de los resultados y la que trata de los principios. En base a lo que mencionó Yataco y cols, la primera trata de lo aparente y de lo superficial; la segunda, de lo real y de lo fundamental; no solamente la mayoría de los fallos que se cometen en medicina proceden de confundir unos con otros, sino que, además, la ciencia misma, encerrada en los bajos ámbitos de la observación vulgar, que trata a los objetos desde el lado de fuera del laboratorio, no puede adoptar las orientaciones y soluciones adecuadas a los problemas médicos relativos a su realidad interna ni total de los mismos, razón por la cual es todavía baja en su vitalidad y limitada en su utilización.

El paradigma en medicina o en enfermería, además de que se le podría llamar así también "perspectiva", "punto de vista", "visualización", "sistema explicativo", "postura teórica" o "modelo

causal", vendría a denotar el sistema de teorías, leyes, corolarios, axiomas, principios, categorías, elementos, procesos, etc. que escoge y defiende una escuela o una época determinada para organizar, explicar e interpretar los resultados, uniformidades, leyes y regularidades observadas y comprobadas en la naturaleza de los seres vivos (Giribet, 2022).

El paradigma dominante en la medicina actual se erige como un constructo epistemológico y práctico que articula los principios, metodologías y normas que definen la formación, la investigación y la praxis clínica (Althusser, 2022). Este marco conceptual no solo estructura los recursos pedagógicos disponibles como literatura especializada, revistas indexadas, simposios multidisciplinares y repositorios de datos científicos, sino que también moldea los procesos cognitivos y técnicos mediante los cuales los estudiantes internalizan el conocimiento médico. La docencia, en este contexto, opera bajo un modelo de actualización continua, en el que los formadores, alineados con las demandas del contexto sociosanitario vigente, actúan como mediadores críticos entre el saber acumulado y su aplicación contextualizada (Mondragón, 2024).

Este paradigma se sostiene sobre estructuras institucionalizadas que regulan la creación, validación y obsolescencia de saberes. Los sistemas académicos, mediante la estandarización de grados, especializaciones, maestrías y doctorados, establecen jerarquías de competencia y autoridad epistemológica. Simultáneamente, organismos colegiados y comités éticos definen los límites de la investigación, priorizando áreas de estudio en función de urgencias sanitarias, avances tecnológicos o intereses socioeconómicos; tal rigurosidad normativa busca garantizar que la producción científica se ajuste a criterios de validez, reproducibilidad y relevancia clínica (Yataco y cols., 2023).

En la práctica, este modelo paradigmático prescribe comportamientos profesionales mediante protocolos basados en evidencia (EBM, por sus siglas en inglés), que distinguen entre intervenciones validadas empíricamente y aquellas consideradas anecdóticas o desactualizadas. La toma de decisiones clínicas, por tanto, se fundamenta en una síntesis jerarquizada de estudios meta-analíticos, guías de práctica clínica y consensos internacionales, relegando al margen enfoques no avalados por el método científico. Este mecanismo, aunque promueve la estandarización de la calidad asistencial, genera tensiones ante escenarios clínicos complejos o carentes de evidencia robusta.

No obstante, subyace una crisis multifacética en este paradigma. Por un lado, la aceleración exponencial del conocimiento científico genera brechas entre la formación inicial y las demandas de la práctica avanzada, cuestionando la sostenibilidad de los modelos educativos tradicionales (Giribet, 2022). Por otro, la mercantilización de la salud, la fragmentación hiperespecializada y la sobrecarga de información a menudo contradictoria erosionan la coherencia del ejercicio médico, desdibujando su enfoque holístico. A ello se suma el desafío ético de integrar innovaciones disruptivas (IA, terapia génica, big data) sin transgredir principios de equidad o autonomía del paciente.

Esta crisis exige una reevaluación crítica del paradigma vigente. Es imperativo trascender la mera actualización técnica para adoptar un enfoque transdisciplinar que reconcilie el rigor científico con la adaptabilidad contextual. Ello implica repensar la formación médica desde una perspectiva integral, fomentar investigaciones que aborden determinantes sociales de la salud y redefinir los marcos normativos para acomodar la complejidad de la medicina del siglo XXI. Solo así podrá emerger un paradigma renovado, capaz de responder a los desafíos epistemológicos, éticos y prácticos de nuestra era.

Incremento de enfermedades crónicas no transmisibles

Según la Organización Mundial de Salud se observa una clara reducción de la mortalidad general de la población como consecuencia de circunstancias diversas, pero en la que la enfermedad erróneamente erradicada como especie cada vez cobra más importancia a lo largo del tiempo, y nos estamos refiriendo a las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). En cuanto a la prevalencia, es la actividad crónica de la enfermedad, la que cede su trono temporal, el que impone un mapa de especialidades y servicios hospitalarios cada vez más invasor en el modelo de la medicina moderna.

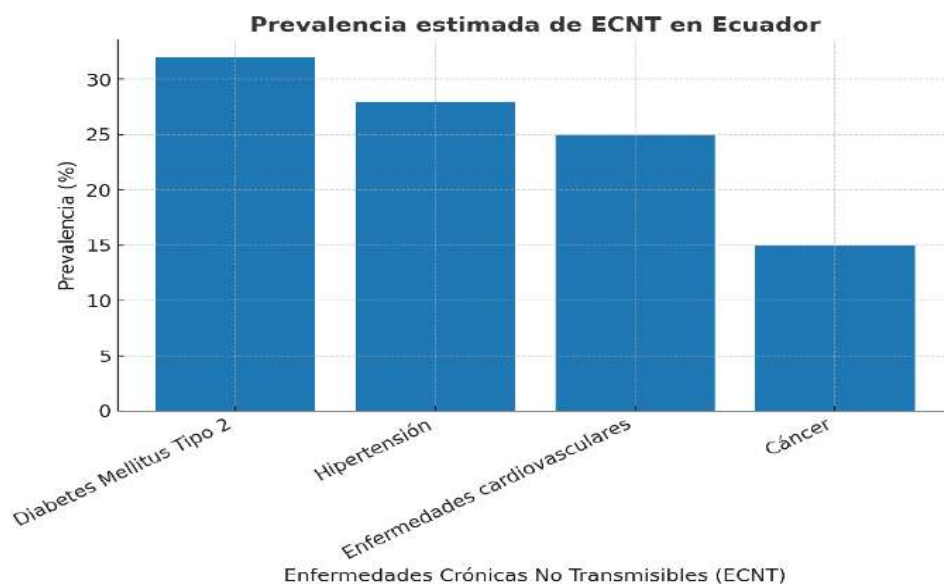
Las ECNT engloban conjuntos de patologías muy diversas, pero con ciertas características comunes, resumidas en la presentación de etiopatogenia directa o indirecta fuera de un proceso infeccioso y con un carácter permanente y, por tanto, con un componente transmisible de los factores causales directos. En esta lista de enfermedades crónicas está incluida la Diabetes Mellitus

Tipo 2 (DM2) como una de las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) y, según este informe, el riesgo de padecer esta enfermedad es cada vez mayor.

En Ecuador, este fenómeno adquiere dimensiones alarmantes, no solo por su carga clínica, sino por su impacto socioeconómico y su interacción con problemáticas sistémicas como la fragmentación asistencial, la polifarmacia y la iatrogenia. Este análisis aborda dicha complejidad, integrando datos epidemiológicos, evidencias económicas y reflexiones críticas sobre la gestión sanitaria.

Figura 1

Prevalencia estimada



Nota: Elaboración propia.

Las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como diabetes, hipertensión, enfermedades cardiovasculares y cáncer constituyen uno de los desafíos más críticos para los sistemas de salud contemporáneos.

En Ecuador, este fenómeno adquiere dimensiones alarmantes, no solo por su carga clínica, sino por su impacto socioeconómico y su interacción con problemáticas sistémicas como la fragmentación asistencial, la polifarmacia y la iatrogenia. Este análisis aborda dicha complejidad,

integrando datos epidemiológicos, evidencias económicas y reflexiones críticas sobre la gestión sanitaria.

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2020), el 60% de las muertes registradas en el país están asociadas a ECNT, con una tasa de mortalidad ajustada de 318 por cada 100,000 habitantes. La diabetes mellitus, por ejemplo, presenta una prevalencia del 7.4% en adultos mayores de 30 años, mientras que la hipertensión arterial afecta al 13.5% de esta población, según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT-ECU, 2018). Estos datos reflejan un patrón regional: la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2022) señala que el 81% de las muertes en América Latina se vinculan a ECNT, con Ecuador situado en la media continental.

El envejecimiento poblacional la población mayor de 60 años alcanzará el 16% para 2030 (CEPAL, 2021) agrava este escenario, ya que la cronicidad se correlaciona con la edad. Además, factores de riesgo modificables, como el sedentarismo (presente en el 58% de los ecuatorianos) y la obesidad (afecta al 35% de las mujeres adultas), exacerban la incidencia de ECNT (ENSANUT-ECU, 2018).

Las ECNT generan una carga económica dual. A nivel macro, el Ministerio de Salud Pública (MSP, 2021) estima que el tratamiento de estas patologías consume el 30% del presupuesto nacional en salud, destinado principalmente a hospitalizaciones (40% de camas ocupadas en hospitales públicos) y medicamentos crónicos. Un estudio de la OPS (2021) calcula que, en Ecuador, los costos directos asociados a diabetes y enfermedades cardiovasculares superan los USD 500 millones anuales, equivalente al 0.8% del PIB.

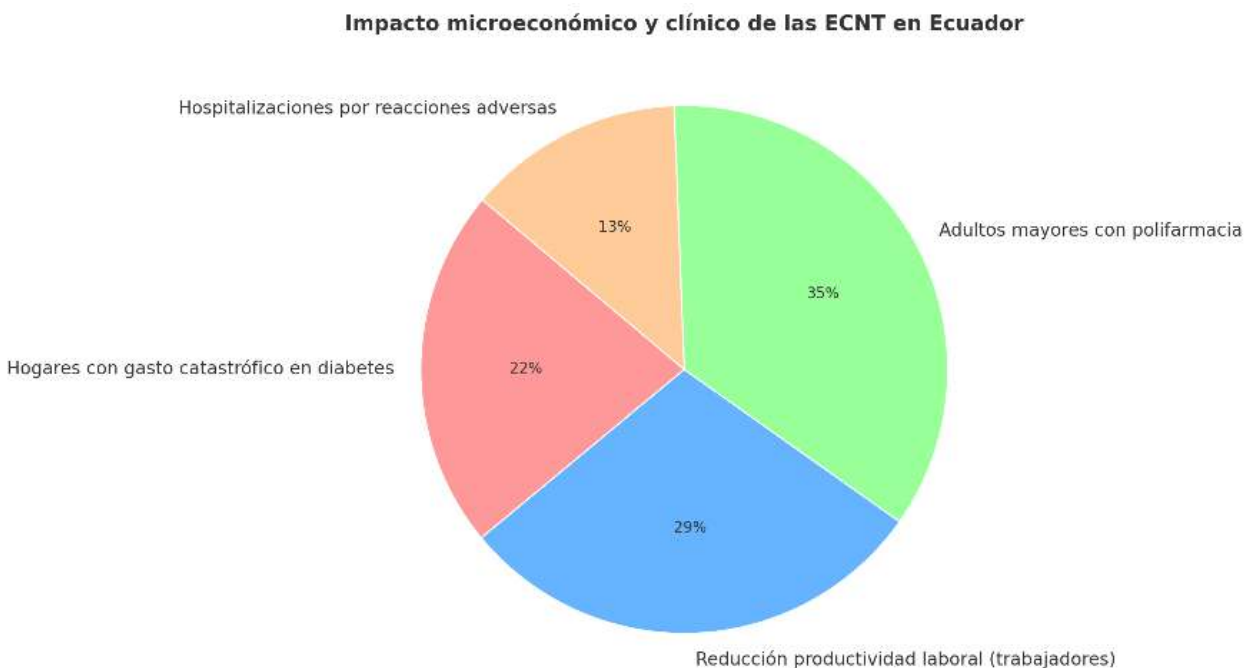
A nivel microeconómico, las familias enfrentan gastos catastróficos: el 25% de los hogares con un miembro diabético destina más del 20% de sus ingresos a medicamentos y consultas (OPS, 2020). A esto se suman costos indirectos por pérdida de productividad laboral: el ausentismo y el presentismo vinculados a ECNT reducen la capacidad económica de 1 de cada 3 trabajadores, según la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2019).

La gestión de las ECNT suele derivar en polifarmacia (consumo de ≥ 5 medicamentos diarios), un fenómeno que afecta al 40% de los adultos mayores en Ecuador (García et al., 2021). Esta práctica, aunque justificada clínicamente, incrementa exponencialmente el riesgo de eventos

adversos a medicamentos (EAM). Estudios locales revelan que el 15% de las hospitalizaciones en Guayaquil y Quito se deben a reacciones adversas o interacciones farmacológicas, siendo los anticoagulantes y los antihipertensivos los principales implicados (Revista Médica de Ecuador, 2022).

Figura 2

Impacto microeconómico



Nota: Datos del Ministerio de Salud Pública, 2021.

La iatrogenia no se limita a lo farmacológico: incluye errores diagnósticos, sobre medicalización y fragmentación de la atención. En Ecuador, el 30% de los pacientes con múltiples enfermedades crónicas recibe prescripciones contradictorias de diferentes especialistas, según un análisis del Colegio de Médicos de Pichincha (2020). Esta descoordinación se agrava por la falta de historias clínicas unificadas y el acceso desigual a servicios de salud en zonas rurales, donde el 60% de los pacientes crónicos carece de seguimiento continuo (MSP, 2022).

El sistema de salud ecuatoriano enfrenta barreras estructurales para gestionar las ECNT:

- Fragmentación asistencial: Solo el 45% de los establecimientos de primer nivel cuenta con equipos multidisciplinarios para manejar cronicidad (MSP, 2023).
- Desigualdad territorial: Mientras en Quito hay 12 médicos por cada 10,000 habitantes, en provincias como Morona Santiago la ratio cae a 2.3 (INEC, 2021).
- Baja adherencia terapéutica: El 50% de los pacientes crónicos no cumple sus tratamientos, vinculado a factores como el analfabetismo sanitario y el costo de los medicamentos (ENSANUT-ECU, 2018).

Estos desafíos se interceptan con determinantes sociales: el 28% de la población rural no accede a agua potable, elevando el riesgo de enfermedades renales crónicas, y el 42% de los niños urbanos consume dietas hiperprocesadas, predisponiendo a obesidad temprana (UNICEF, 2021).

Resistencia a los antimicrobianos

En base a un reporte realizado en el 2022 por parte de la Organización Mundial de la Salud, actualmente se produce un importante aumento de microorganismos resistentes a los antibióticos diseñados para su tratamiento. Se estima que desde 2013 la resistencia bacteriana es ya incidente en más de 1 millón de muertos al año y que para 2030 la resistencia bacteriana generará una crisis que causará más de 10 millones de muertes al año.

Desgraciadamente, el escenario previsto se prevé que acabe cumpliendo en parte o en la totalidad de las previsiones que aquí se podrían desarrollar. Por un lado, las estrategias mundiales propuestas para el abordaje del problema por los distintos comités de expertos y gobiernos de países afectados tienen un mínimo de probabilidades de acabar produciendo la epidemia evitada; por otro, los individuos que padecen características químicas en sus genes que les confieren mayor capacidad de supervivencia a las moléculas antibióticas (CDC, 2021).

La resistencia a los antibióticos se ha convertido en una de las mayores amenazas para la salud pública del siglo XXI. Según el análisis sistemático de Murray et al. (2022), en 2019 se atribuyeron directamente 1,27 millones de muertes a infecciones bacterianas resistentes, con un impacto indirecto en aproximadamente 4,95 millones de fallecimientos a nivel global. Esta crisis

no solo afecta a países de bajos ingresos, sino que se extiende a regiones de alto desarrollo, evidenciando su naturaleza transversal.

Factores como el uso excesivo de antibióticos en humanos y animales, la falta de regulación en prescripciones médicas y las deficiencias en saneamiento básico han acelerado la propagación de patógenos resistentes, poniendo en riesgo décadas de avances médicos (Ventola, 2015). La proyección de que, para 2050, las muertes anuales podrían superar los 10 millones refleja la urgencia de acciones coordinadas.

Considerando que el desgaste de la efectividad de los medicamentos anteriores disminuye la calidad de la atención médica y añade una carga económica adicional a los sistemas, con frecuencia sin beneficio alguno para los enfermos. Desde otra perspectiva, en el ámbito farmacéutico, persisten las barreras entre el conocimiento generado en la universalidad y su infrecuente transferencia y explotación en la práctica diaria.

El estudio de Murray et al. (2022) identifica a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* como los patógenos con mayor carga de mortalidad asociada a la resistencia, destacando su capacidad para evadir múltiples clases de antibióticos. Estas bacterias no solo complican el tratamiento de infecciones comunes, como neumonías o sepsis, sino que también incrementan los costos hospitalarios y la estancia médica. Además, la disparidad geográfica es alarmante: África subsahariana y Asia meridional registran las tasas más altas de muertes per cápita, en parte por el acceso limitado a antibióticos de segunda línea y a diagnósticos precisos. Ventola (2015) advierte que prácticas como el uso de antimicrobianos en la agricultura para promover el crecimiento del ganado han creado reservorios de genes resistentes, exacerbando el problema en comunidades con sistemas de salud frágiles.

A pesar de la gravedad de la crisis, la investigación y desarrollo de nuevos antibióticos enfrenta un estancamiento crítico. Ventola (2015) señala que, entre 1980 y 2015, solo se aprobaron 16 nuevos antibióticos, muchos con mecanismos similares a los existentes. Este déficit se debe a inversiones limitadas, dada la baja rentabilidad comparativa frente a fármacos crónicos, y a barreras regulatorias complejas. Murray et al. (2022) enfatizan que, sin estrategias integrales como programas de vigilancia epidemiológica, educación médica y restricciones al uso veterinario, incluso los avances terapéuticos serán insuficientes. La cooperación internacional, mediante

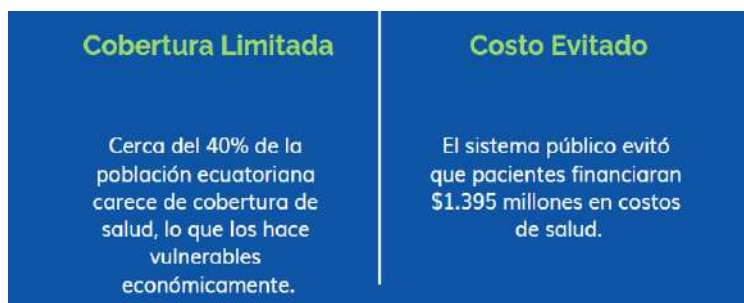
iniciativas como el Plan de Acción Mundial de la OMS, es esencial para redefinir el enfoque hacia un modelo preventivo y sostenible, antes de que las infecciones intratables se normalicen.

Costos insostenibles de los sistemas de salud.

En Ecuador, cerca del 40% de la población, lo que representa a más de 2 millones de personas, se encuentra totalmente desprovista de cualquier tipo de cobertura en salud, situación preocupante que resalta la vulnerabilidad de vastos sectores.

Figura 3

Comparación de costos



Nota: Elaboración propia

En lo que respecta al financiamiento de servicios de salud, se pone de manifiesto que las tres cuartas partes de la población, aquellos cuyos ingresos se sitúan por debajo del 40% del total de la población, no tienen acceso a una cobertura formal que sea verdaderamente efectiva en salud. Esto significa que cada costo relacionado con la atención de salud se transforma en una carga insostenible para ellos, creando una crisis de acceso que afecta profundamente su calidad de vida.

Analizando el período que abarca desde enero de 2014 hasta marzo de 2015, se destaca que el Sistema de Salud Público en Ecuador logró evitar que los pacientes tuviesen que financiar por sí mismos costos que suman más de 1,395 millones de dólares, una cifra que representa un importante alivio en términos económicos para la población afectada. Este notable logro se debe,

entre otros factores, a la implementación de políticas públicas que promueven la gratuidad en la atención y un enfoque orientado hacia la atención universal.

Esta situación permitió mantener, en el contexto mencionado, el costo evitado en una cifra que ascendió a 1,395 millones de dólares, notablemente por debajo del costo que fue financiado, el cual alcanzó un alto total de 2,825 millones de dólares. Es fundamental destacar que el costo evitado representa 4.1 veces el gasto que se realizó en salud a través del canal público durante el mismo período, cifra que resulta crucial como insumo clave en el proceso de toma de decisiones que se lleva a cabo a niveles de planificación, ejecución y control del Plan Estratégico del Sector Salud, así como en su Programa de Fortalecimiento de los Componentes de Recursos y Gasto.

Figura 4

Impacto microeconómico



Nota: Elaboración propia

Además, el trabajo que ha realizado el Ministerio de Salud en la recopilación y levantamiento de información proveniente de las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud se ha estimado en un total aproximado de 600 millones de dólares, lo que habla de un esfuerzo colectivo por mejorar la transparencia y la eficiencia en el manejo de recursos en el sector salud. El uso de esta valiosa información permitirá a quienes toman decisiones en el ámbito de la salud

acortar los horizontes de cálculo, optimizando así los procesos que llevan a cabo, lo que a su vez facilitará una referencia confiable y precisa sobre el costo evitado en la atención de servicios médicos, contribuyendo a mejores políticas y a un futuro más saludable para todos los ecuatorianos.

La insostenibilidad del costo puede manifestarse de diversas formas y tipos en los diferentes sectores. Entre estos tipos se encuentran los costos directos, que están relacionados principalmente con el pago de servicios médicos y otros servicios de salud. Además, hay una variedad de gastos que surgen en el proceso, tales como sobrecostos inesperados y recursos que han sido mal administrados o gastados. Estos recursos, lamentablemente, no pueden ser recuperados ni reutilizados en el futuro, lo cual genera una preocupación adicional.

Esta situación, sin duda, equivale a una notable pérdida de confianza y un desincentivo significativo en todos los involucrados. El impacto de costos insostenibles en el ámbito de la salud es clave y fundamental para la sostenibilidad de los sistemas de salud. Se convierte así en un insumo vital en el proceso de toma de decisiones, que se lleva a cabo a nivel de planificación, ejecución y control de la gestión de salud en general. Considerando esta problemática compleja y urgente, se hace imperativo el desarrollo de un seguimiento sistémico y metódico en el ámbito de la gestión sanitaria.

Este enfoque no solo facilitará el monitoreo continuo de los costos, sino que además permitirá un reordenamiento efectivo y estratégico en el uso de los recursos disponibles. A través de medidas adecuadas y una vigilancia constante, es posible minimizar riesgos y optimizar la eficiencia de los servicios.

Costos en los sistemas de salud

El costo, en su naturaleza, requiere de una gestión especial y meticulosa, tanto para lograr producir información de tipo económico como para establecer mecanismos eficaces de administración, control y apoyo a la toma de decisiones críticas (MSP, 2016). En cambio, el gasto puede ser controlado de manera similar a cómo se maneja el presupuesto, ya sea en forma global

o de manera más específica, sin que sea absolutamente necesaria la subdivisión que implica imputarlo a un listado detallado de costos específicos.

A su vez, es importante mencionar que existen dos definiciones principales de costos que son relevantes en este contexto:

- **Costo de Producción:** Se define como el total del gasto invertido en un bien o servicio que se produce y que tiene tres componentes fundamentales: el costo de los factores productivos utilizados para la fabricación, el desgaste que se produce en el proceso y el rendimiento que se espera obtener.
- Por otro lado, se encuentra el **Costo de la Acción Médica:** este se refiere al costo del acto médico, que es el resultado de imputar a cada acción médica la parte proporcional del costo generado en su obtención y consumo, lo que implica considerar tanto el tiempo empleado como los recursos económicos invertidos; en otras palabras, es el costo que se genera a partir del desarrollo de los programas necesarios para la generación del acto médico. Dividiéndose en dos categorías:
 - **Costo de Inversión:** costes provocados por la toma de decisiones que requieren inversión significativa, tales como la adquisición de equipos médicos, la adecuación de locales y el establecimiento de un sistema de asistencia sanitaria continuada, entre otros.
 - **Costo de Uso (o Consumo):** valores de los recursos consumidos, como el personal, los materiales utilizados y el tiempo requerido, que se producen al realizar pruebas, tratamientos y demás intervenciones médicas.

Estos costos pueden variar considerablemente según diferentes grados de intensidad, dependiendo de cómo varíen las características del paciente, lo que podría requerir pruebas distintas, tratamientos más o menos complejos en términos de cantidad y duración, y una atención médica que puede ser más o menos prolongada.

Estructura de costos en los Sistemas de Salud del Ecuador

De acuerdo con lo que se ha socializado anteriormente, la estructura de costos de los sistemas de salud en Ecuador está fundamentalmente formada por el gasto en recursos humanos,

que incluye no solo la nómina de empleados, sino también una amplia variedad de los distintos perfiles profesionales necesarios para garantizar una atención médica de alta calidad.

Esta atención no solo se limita a médicos y enfermeras, sino que abarca también a otros profesionales como técnicos en salud, terapeutas y especialistas que son cruciales para el tratamiento integral de los pacientes. Esto se complementa con el considerable gasto en medicamentos, el cual, a pesar de estar sujeto a regulaciones que controlan los precios tanto en la prestación de servicios de salud como en la distribución y comercialización de los fármacos, sigue representando una parte significativa del presupuesto general del sistema de salud (MSP, 2021).

La inversión en recursos humanos es esencial para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente del sistema de salud, mientras que la inversión en medicamentos impacta directamente en la efectividad de los tratamientos que reciben los pacientes y, en consecuencia, en la salud general de la población. La interrelación entre estos dos elementos es fundamental para poder ofrecer un servicio de salud que realmente satisfaga las necesidades de la comunidad.

De acuerdo con lo que se ha socializado anteriormente, la estructura de costos de los sistemas de salud en Ecuador está fundamentalmente formada por el gasto en recursos humanos, que incluye no solo la nómina de empleados, sino también una amplia variedad de los distintos perfiles profesionales necesarios para garantizar una atención médica de alta calidad. Esta atención no solo se limita a médicos y enfermeras, sino que abarca también a otros profesionales como técnicos en salud, terapeutas y especialistas que son cruciales para el tratamiento integral de los pacientes.

Esto se complementa con el considerable gasto en medicamentos, el cual, a pesar de estar sujeto a regulaciones que controlan los precios tanto en la prestación de servicios de salud como en la distribución y comercialización de los fármacos, sigue representando una parte significativa del presupuesto general del sistema de salud (OPS, 2019). La inversión en recursos humanos es esencial para asegurar un funcionamiento adecuado y eficiente del sistema de salud, mientras que la inversión en medicamentos impacta directamente en la efectividad de los tratamientos que reciben los pacientes y, en consecuencia, en la salud general de la población. La interrelación entre estos dos elementos es fundamental para poder ofrecer un servicio de salud que realmente satisfaga las necesidades de la comunidad.

A nivel de provisión del servicio de salud, el sector público enfrenta un gasto anual en personal y contratados de USD 781 millones; considerando que, el gasto subvencionado por el sector público para la compra de medicamentos en todas las formas farmacéuticas asciende a USD 158 millones, refiriéndose a surtidos entregados por: programas de promoción específicos, personal en base a la necesidad clínica específica y surtidos normales de la prestación de atención en todos los niveles del sistema (MSP, 2021).

En lo que refiere al sector de la seguridad social, al igual que el sector público, el gasto se concentra en los prestadores de servicios. Sin embargo, los índices de costos y sus gastos administrativos están bajando gracias a las buenas prácticas de relacionamiento con los prestadores. Por tanto, su indicador más alto es en medicamentos, donde más del 80% de sus ventas las realizan los hospitalarios e institucionales. A nivel de la provisión de medicamentos, el sistema de salud ecuatoriano cuenta con un Plan Estratégico, que tiene por objetivo el gasto de los medicamentos en las diferentes unidades de salud con la baja morbilidad y mortalidad en el país bajo los parámetros del modelo de salud universal con calidad y seguridad.

En este marco, la estructura de costos está relacionada a la adquisición de medicamentos, aplicación de guías de medicamentos específicas para sensibilizar y tratar; así como mediante estrategias de promoción, prevención y control de enfermedades buscando mejorar la calidad de vida de la población.

Además, en las últimas décadas, se ha evidenciado un cambio acelerado en el perfil demográfico de la población global y local. Algunos aspectos relevantes que se destacan en el caso latinoamericano y principalmente ecuatoriano son: el aumento de la expectativa de vida, la disminución en la tasa de fecundidad y el envejecimiento progresivo de la población. Este último hecho pone de manifiesto la transición epidemiológica en el territorio en cuestión, fenómeno consecuente de las transformaciones sociales, económicas, culturales y políticas que se han desarrollado, con marcadas diferencias en cómo se presentan en las diferentes regiones del mundo, así como también dentro de un mismo país.

La huella que dejan estos aspectos en la economía y organización de los países en el mundo es innegable y debe buscar una solución inmediata para frenar el ritmo ascendente de los costos que esta transición trae consigo. En Ecuador, el fenómeno de la transición epidemiológica ha

dejado a su paso un alto costo en términos económicos y sociales que lo han llevado de manera casi inmediata a reformar todo el sistema de salud como única solución al problema.

Por otro lado, los patrones de consumo de la sociedad ecuatoriana también han cambiado en la actualidad. Es por ello necesario tener en claro, de manera conjunta con la transición epidemiológica, una serie de interrogantes tales como: ¿Cuál es la carga tanto financiera como económica en Ecuador a consecuencia de la obesidad y las tendencias relacionadas al cambio de paradigma epidemiológico por el que atraviesa la nación ecuatoriana? ¿Qué patrones sociodemográficos de la población condicionan las prevalencias de estas enfermedades o condiciones crónicas y hacen que sus prevalencias sean dispares? ¿Qué impacto económico asume el sistema de salud y absorbe el individuo no solo al sufrir enfermedades potencialmente prevenibles, sino asociadas a un determinado estilo de vida que se refleje en una menor esperanza de vida o bienestar social?

A pesar de los enormes desafíos que enfrenta el sector de salud en Ecuador, existen agudos problemas de gobernanza, sostenibilidad, cobertura y calidad de la atención, que están ocasionando disconformidad y demandas de usuarios, maestros, estudiantes y médicos, sobre todo en las regiones consideradas deprimidas, donde las enfermedades emergentes y reemergentes muestran una tendencia ascendente, ocasionando inestabilidad en el sistema y demandas sobre el ministro de Salud y su equipo, lo que se ha convertido en una amenaza para la gobernanza de salud de Ecuador.

Finalmente, se debe considerar que en los últimos años hay un incremento desmedido del gasto en servicios de salud, lo que mantiene desequilibrado al Sistema de Seguridad Social en Salud específicamente; también preocupa el incremento de patologías infecciosas, desórdenes mentales, abuso y adicción a sustancias legales e ilegales, enfermedades endemo-epidémicas y creciente prevalencia de enfermedades no transmisibles, que aquejan la economía familiar, colectiva y al Sistema de Salud Público, que no está acondicionado para contener el sobredimensionado aumento de usuarios.

Puntos claves

Crisis de cobertura sanitaria en Ecuador

El 40% de la población (más de 2 millones) carece de acceso a servicios de salud, exacerbando vulnerabilidades socioeconómicas.

Auge de enfermedades crónicas (ECNT) y resistencia antibiótica

Las ECNT representan el 60% de las muertes en Ecuador, con costos directos superiores a USD 500 millones anuales. La resistencia antimicrobiana amenaza con causar 10 millones de muertes globales para 2030.

Costos insostenibles en salud

El 30% del presupuesto nacional en salud se destina a tratar ECNT, mientras el 25% de familias con pacientes crónicos gastan >20% de sus ingresos en atención.

Transición demográfica y epidemiológica

El envejecimiento poblacional (16% mayores de 60 años para 2030) y hábitos no saludables incrementan la carga de enfermedades crónicas.

Fallas sistémicas en gestión sanitaria

Fragmentación asistencial, desigualdad territorial (2.3 médicos/10,000 habitantes en zonas rurales) y polifarmacia (40% de adultos mayores) afectan la calidad.

Necesidad de un nuevo paradigma médico

Urge integrar medicina de precisión, biología de sistemas y enfoques holísticos para superar el reduccionismo y la deshumanización actual.

Inversión estratégica en recursos

El gasto en recursos humanos (USD 781 millones) y medicamentos (USD 158 millones) es vital, pero requiere optimización y transparencia.

Reformas institucionales urgentes

Se recomienda fortalecer la gobernanza, estandarizar compras públicas y adaptar políticas a determinantes sociales para garantizar equidad y sostenibilidad.

Key Relevant Points

Healthcare coverage crisis in Ecuador

40% of the population (over 2 million) lacks access to health services, worsening socioeconomic vulnerabilities.

Rise of chronic diseases (NCDs) and antibiotic resistance

NCDs account for 60% of deaths in Ecuador, with direct costs exceeding USD 500 million annually. Antimicrobial resistance threatens 10 million global deaths by 2030.

Demographic and epidemiological transition

Population aging (16% over 60 by 2030) and unhealthy habits increase chronic disease burden.

Systemic healthcare management failures

Fragmented care, territorial inequality (2.3 doctors/10,000 in rural areas), and polypharmacy (40% of elderly) undermine quality.

Need for a new medical paradigm

Integration of precision medicine, systems biology, and holistic approaches is critical to overcome current reductionism and dehumanization.

Strategic resource investment

Spending on human resources (USD 781 million) and medications (USD 158 million) is vital but requires optimization and transparency.

Urgent institutional reforms

Strengthening governance, standardizing public procurement, and adapting policies to social determinants are key to ensuring equity and sustainability.

Referencias bibliográficas

- Althusser, L. (2022). *Psicoanálisis y ciencias humanas: Dos conferencias (1963-1964)*. [HTML].
- Andrade, R., & Gómez, L. (2018). Clasificación de costos en salud pública: Una guía para la toma de decisiones. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 42, e102. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.102>
- Andrade, R., & Gómez, L. (2018). Gestión de costos en salud pública: Experiencias de Ecuador. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 42, e98. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.98>
- Banco Mundial. (2016). Gasto en salud y protección financiera en Ecuador: Análisis de brechas y sostenibilidad. <https://documents.worldbank.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/552731468325711180/ecuador-health-financing-and-financial-protection-report>
- Banco Mundial. (2020). Financiamiento de medicamentos en sistemas de salud latinoamericanos: Lecciones desde Ecuador. <https://documents.worldbank.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/468141582817210243/ecuador-financiamiento-de-medicamentos>
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2021). Antibiotic resistance threats in the United States. <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/threats-report/2019-ar-threats-report-508.pdf>
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL). (2021). Acceso a salud en regiones deprimidas de Latinoamérica. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46798-acceso-salud-regiones-deprimidas-latinoamerica>
- Cotlear, D., & Gómez-Dantés, O. (2017). Crisis de gobernanza en sistemas de salud: El caso ecuatoriano. *Revista de Salud Pública*, 19(3), 312-320. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n3.67890>

- Cotlear, D., et al. (2015). Universal Health Coverage and Equity in Latin America: Lessons from Ecuador. *The Lancet Global Health*, 3(1), e13-e14. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(14\)70344-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(14)70344-4)
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del Ecuador (ENSANUT-ECU). (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición del Ecuador. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/salud-salud-reproductiva-y-nutricion/>
- Espinosa-Arreaga, G., Lozada-Marquez, K., Escobar-Segovia, K. (2025). Supply Chain Management at the Hospital Level: A Systematic Review. In: Olmedo Cifuentes, G.F., Arcos Avilés, D.G., Lara Padilla, H.V. (eds) *Emerging Research in Intelligent Systems. CIT 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1348. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87701-8_5
- Finkler, S. A., & Ward, D. M. (2006). *Cost Accounting for Health Care Organizations: Concepts and Applications* (3ra ed.). Jones & Bartlett Learning. <https://www.jblearning.com/catalog/productdetails/9780763738816>
- Freire, W. B., et al. (2019). Costo de la obesidad en Ecuador: Impacto en el sistema de salud. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43, e58. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.58>
- García, M. et al. (2021). Polifarmacia en adultos mayores: Estudio transversal en Quito. *Revista Latinoamericana de Gerontología*.
- García-Prado, A., & González, P. (2007). Policy and regulatory responses to dual practice in the health sector. *Health Policy*, 84(2-3), 142-152. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2007.03.006>
- Giribet, G. (2022). Acerca de la frase de Heidegger “La ciencia no piensa”. *Revista de Filosofía*. ucm.es
- Guevara Luna y cols. (2024). Optimización de la eficiencia y sostenibilidad en la gestión de inventario de medicamentos digestivos enterales en fundación médicos en rut.

- (2024). Revista Internacional De Estudios En Ciencias Administrativas STRATEGOS, 4(2), 20. <https://doi.org/10.53591/strategos.v4i2.2074>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT-ECU). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/salud-salud-reproductiva-y-nutricion/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020). Estadísticas Vitales: Registro de Defunciones Generales.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). Proyecciones demográficas de Ecuador 2020-2050: Envejecimiento y morbilidad. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-demograficas/>
- Kaplan, R. S., & Porter, M. E. (2011). The big idea: How to solve the cost crisis in health care. *Harvard Business Review*, 89(9), 46-64. <https://hbr.org/2011/09/how-to-solve-the-cost-crisis-in-health-care>
- Mendoza, J., & López-Cevallos, D. (2017). Análisis de costos en sistemas de salud: Experiencias desde Ecuador. *Salud Pública de México*, 59(3), 312-319. <https://doi.org/10.21149/8416>
- Mendoza, J., & López-Cevallos, D. (2020). Desigualdades en salud en zonas rurales de Ecuador: Un análisis comparativo. *Salud Colectiva*, 16, e2401. <https://doi.org/10.18294/sc.2020.2401>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2015). Informe de gestión del Sistema Nacional de Salud: Periodo 2014-2015. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/Informe-Gestion-SNS-2014-2015.pdf>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2015). Plan Estratégico del Sector Salud 2016-2021. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2016/03/PLAN-ESTRATEGICO-DEL-SECTOR-SALUD-2016-2021.pdf>

- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2016). Manual de Gestión de Costos en Establecimientos de Salud. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2016/05/Manual-Gestion-de-Costos.pdf>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2018). Plan Estratégico de Medicamentos Esenciales 2018-2025. <https://www.salud.gob.ec/plan-estrategico-de-medicamentos-esenciales/>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2021). Análisis de Gasto en Salud Pública.
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP). (2021). Cuentas Nacionales de Salud: Análisis del gasto en recursos humanos y medicamentos. <https://www.salud.gob.ec/cuentas-nacionales-de-salud-2021/>
- Mondragón, J. (2024). PNL: Reprograma tu cerebro y alcanza el éxito y la satisfacción personal. [HTML].
- Murray, C. J. L., et al. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629-655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Monitoreo de la sostenibilidad financiera en sistemas de salud: Guía para países de ingresos medios. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/259632>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). Sostenibilidad financiera en sistemas de salud: Informe global. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/356984>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2019). Políticas farmacéuticas en Ecuador: Acceso y regulación de precios. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51734>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2020). Gestión de costos en sistemas de salud: Enfoques metodológicos y experiencias en América Latina. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/53145>

- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2021). Evaluación del sistema de salud en Ecuador: Desafíos financieros y cobertura universal. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55145>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2022). Enfermedades no transmisibles en las Américas: Resumen de situación.
- Ortiz Fernández, M. (2021). El consentimiento informado en el ámbito sanitario: responsabilidad civil y derechos constitucionales. umh.es
- United Nations Children's Fund (UNICEF). (2021). Perfil nutricional de la niñez ecuatoriana.
- United Nations Population Fund (UNFPA). (2021). Transición epidemiológica en América Latina: Caso Ecuador. <https://lac.unfpa.org/es/publications/transici%C3%B3n-epidemiol%C3%B3gica-en-ecuador>
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Part 1: Causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*, 40(4), 277–283. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4378521/>
- World Health Organization (WHO). (2018). Tracking universal health coverage: Global monitoring report. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344125>
- World Health Organization (WHO). (2021). Global report on diabetes: Country profile for Ecuador. <https://www.who.int/publications/m/item/global-report-on-diabetes-ecuador>
- World Health Organization (WHO). (2022). Antimicrobial resistance. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Yataco-Wilcas, C. A., Pinto-Santos, C. M., & Guillen-Celestino, L. C. (2023). La transformación del rol del profesional médico: retos, renovación y responsabilidad. *Apuntes de Bioética*, 6(2), 68-84. scielo.org.pe

Capítulo II:

Genómica y Epigenética: Más allá del ADN

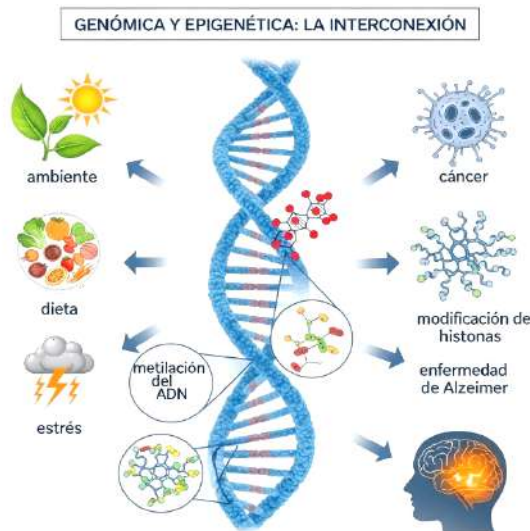
María Belén Vanegas Yaguana
Coordinación Zonal 8, Ministerio de Salud Pública
© <https://orcid.org/0009-0004-4841-6248>

Introducción

La genómica y la epigenética han revolucionado nuestra comprensión del ADN, desafiando la idea de que nuestra herencia genética es un destino inmutable. Más allá de la secuencia de nucleótidos, existen mecanismos epigenéticos que regulan la expresión de los genes sin alterar su estructura, influenciados por el ambiente, la dieta, el estrés e incluso experiencias vividas (Logroño et al., 2021).

Figura 5

Genómica y epigenética



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

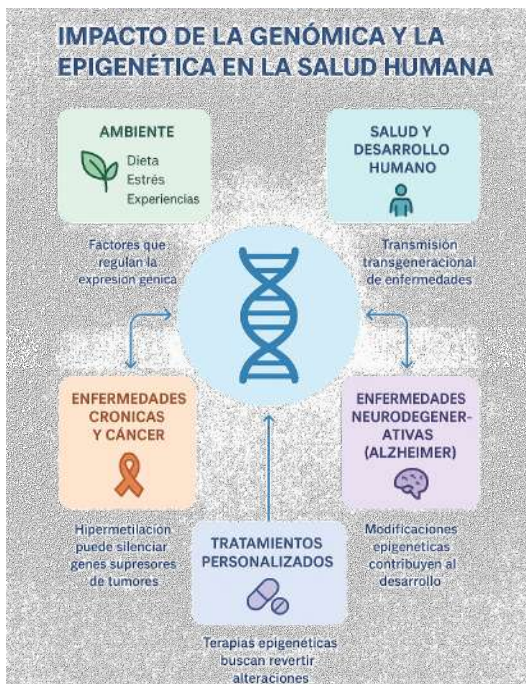
La epigenética es clave en el desarrollo humano y la salud. Se ha demostrado su papel en la transmisión transgeneracional de enfermedades crónicas, sugiriendo que hábitos y

condiciones de vida de una generación pueden impactar a las siguientes (Logroño et al., 2021). Asimismo, en patologías como el cáncer, la hipermetilación del ADN puede silenciar genes supresores de tumores, pero terapias epigenéticas están explorando su reversión (Illera & Cárdenas, 2011).

Además, se han hallado vínculos entre la epigenética y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, donde cambios en la metilación del ADN y modificaciones de histonas podrían contribuir a su desarrollo (Mill, 2011). Estos descubrimientos abren nuevas puertas para tratamientos personalizados basados en la regulación epigenética.

Figura 6

Impacto de la genómica



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

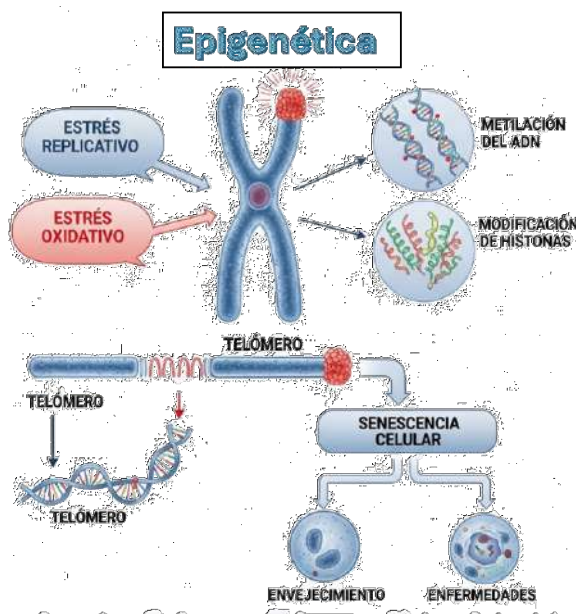
Así, la genómica y la epigenética nos enseñan que la biología no es solo una cuestión de herencia, sino también de interacción con el entorno. Este conocimiento transforma la medicina, la biotecnología y la forma en que entendemos nuestra identidad biológica, marcando una nueva era en la ciencia de la vida.

Genómica y envejecimiento: La inestabilidad como eje central

La inestabilidad genómica emerge como un pilar fundamental en la biología del envejecimiento. Estudios recientes demuestran que el deterioro progresivo de la integridad del ADN, desde mutaciones puntuales hasta reordenamientos cromosómicos, no solo es una consecuencia del envejecimiento, sino un driver activo del mismo (López-Gil et al., 2023).

Figura 7

Epigenética



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

Por ejemplo, en células senescentes, la acumulación de daño en el ADN ribosomal (ADNr) desencadena la liberación de círculos extracromosómicos de rDNA, que interfieren

con la replicación y promueven la disfunción nuclear (Wang & Lemos, 2019). Además, la ineficiencia de los sistemas de reparación, como la recombinación homóloga (HR) y la unión de extremos no homólogos (NHEJ), se agrava con la edad, favoreciendo la acumulación de mutaciones somáticas en tejidos postmitóticos como el cerebro y el corazón (Mao et al., 2012; Victorelli & Passos, 2023). La genómica funcional ha identificado genes clave como *SIRT6*, cuya sobreexpresión en ratones mejora la reparación de roturas de doble cadena y prolonga la longevidad (Tian et al., 2019).

Por otro lado, la desregulación de *DNMT3A*, una metiltransferasa esencial, altera los patrones de metilación en regiones repetitivas, contribuyendo a la inestabilidad cromosómica y al cáncer en adultos mayores (Yang et al., 2022). Tecnologías como la secuenciación de células individuales revelan que la heterogeneidad epigenética aumenta con la edad, lo que sugiere que la pérdida de control transcripcional acelera el declive fisiológico (Cheung et al., 2018).

Telómeros y epigenética: Un equilibrio frágil

Los telómeros, estructuras protectoras en los extremos cromosómicos, son sensibles tanto al estrés replicativo como a las alteraciones epigenéticas. El acortamiento telomérico, acelerado por la disfunción mitocondrial y el estrés oxidativo, activa la senescencia celular mediante la vía p53/p21 (López-Gil et al., 2023). Sin embargo, la epigenética modula este proceso: la metilación del ADN en regiones subteloméricas y la acetilación de histonas (H4K16ac) regulan la accesibilidad de la telomerasa. En células madre, la pérdida de H3K9me3 en los telómeros reduce la unión de proteínas protectoras como TRF2, exponiendo el ADN a fusión de cromosomas (Chen et al., 2022).

Intervenciones como el uso de oligonucleótidos teloméricos (T-oligos) o activadores de telomerasa (TA-65) han mostrado potencial para alargar telómeros en modelos animales, pero su eficacia depende del contexto epigenético (Bernardes de Jesus et al., 2012). Por ejemplo, la sobreexpresión de *SIRT6*, una desacetilasa que estabiliza la heterocromatina telomérica, retrasa el acortamiento y mejora la función metabólica en ratones envejecidos

(Roichman et al., 2021). Además, los relojes epigenéticos basados en metilación de sitios teloméricos, como *DNAmTL*, correlacionan con la edad biológica y predicen riesgos de enfermedades cardiovasculares (Lu et al., 2019).

Daño genómico y reparación, modificaciones que rigen el destino celular

El ADN sufre aproximadamente 10,000 lesiones diarias por factores endógenos y ambientales. Con la edad, la eficiencia de los sistemas de reparación (como BER y NHEJ) disminuye, favoreciendo la acumulación de mutaciones. En células senescentes, este deterioro se correlaciona con la activación de vías proinflamatorias y la pérdida de homeostasis tisular (López-Gil et al., 2023). Estudios en centenarios revelan que una mayor actividad de genes reparadores, como SIRT6, está asociada a una longevidad excepcional, sugiriendo que reforzar estas vías podría retrasar el envejecimiento (PMC10152800).

Las modificaciones postraduccionales de histonas, como la acetilación de H3K9 o la metilación de H3K27, regulan la expresión génica y la estabilidad del genoma. Envejecer se asocia con una pérdida global de marcas represivas (H3K9me3) y un aumento de marcas activadoras (H4K16ac), lo que desorganiza la heterocromatina y activa transposones (López-Gil et al., 2023). Inhibidores de histona deacetilasas (HDACs) y activadores de sirtuínas, como el resveratrol, han demostrado restaurar patrones juveniles en modelos animales, prolongando la salud metabólica (PMC10152800).

Metilación del ADN: Del cronómetro al reloj biológico

La metilación del ADN, proceso mediante el cual grupos metilo se añaden a residuos de citosina en secuencias CpG, funciona como un reloj molecular que registra el paso del tiempo biológico. Los llamados "relojes epigenéticos", como el desarrollado por Horvath (2013), utilizan patrones de metilación en loci específicos (por ejemplo, ELOVL2 o FHL2) para predecir la edad cronológica con una precisión superior al 95% (Horvath, 2013; Lu et al., 2019). Estos relojes no solo reflejan el envejecimiento cronológico, sino que también

capturan desviaciones asociadas a factores ambientales (dieta, estrés) y enfermedades. Por ejemplo, un "envejecimiento epigenético acelerado" se ha vinculado a mayor riesgo de diabetes, Alzheimer y mortalidad prematura (Lu et al., 2019).

A nivel molecular, el envejecimiento se caracteriza por dos fenómenos opuestos: hipermetilación en promotores de genes supresores de tumores (como p16INK4a), que silencia rutas antiproliferativas, e hipometilación en regiones repetitivas (LINE-1, Alu), lo que desencadena inestabilidad genómica y activación de transposones (Yang et al., 2022). En síndromes progeroides como el de Hutchinson-Gilford, la pérdida prematura de metilación en heterocromatina (por mutaciones en LMNA) acelera estos cambios, replicando décadas de envejecimiento en pocos años (Scaffidi & Misteli, 2006). Además, estudios en gemelos revelan que la divergencia en patrones de metilación aumenta con la edad, subrayando el papel de factores ambientales en la erosión epigenética (Marttila et al., 2020).

Intervenciones como la restricción calórica o el uso de inhibidores de DNMTs (p.ej., 5-azacitidina) han demostrado revertir parcialmente estos patrones en modelos animales, restaurando la expresión de genes juveniles (Wang & Lemos, 2019). Más recientemente, la reprogramación epigenética mediante factores de Yamanaka (OCT4, SOX2, KLF4) ha logrado resetear el reloj de metilación en células humanas senescentes, abriendo caminos para terapias regenerativas (Ocampo et al., 2016).

ARNs no codificantes: Reguladores ocultos de la longevidad

Los ARNs no codificantes (ncRNAs) han emergido como actores clave en la regulación del envejecimiento, actuando como intermediarios entre el ambiente, el genoma y el epigenoma. Los microARNs (miRNAs), como miR-34 y miR-125, modulan rutas críticas de longevidad. En *Caenorhabditis elegans*, miR-71 inhibe la señalización de insulina/IGF-1 al reprimir *daf-2*, extendiendo la vida útil hasta en un 25% (Boehm & Slack, 2005). En humanos, niveles elevados de miR-146a en sangre se asocian con envejecimiento saludable, al suprimir la inflamación crónica mediante la inhibición de NF- κ B (Jung & Suh, 2014).

Los lncRNAs, por su parte, actúan como andamios moleculares para reclutar complejos epigenéticos. Por ejemplo, PANDA (P21-associated ncRNA DNA damage activated) secuestra a la histona acetiltransferasa MOF, reduciendo la acetilación de H4K16 y silenciando genes pro-senescencia (Hung et al., 2011). En el cerebro envejecido, el lncRNA NEAT1 organiza cuerpos nucleares paraspeckles que protegen contra el estrés oxidativo al retener ARNs mensajeros proapoptóticos (Yamazaki et al., 2022).

Además, los ARNs circulares (circRNAs), como circFOXO3, acumulados en músculo esquelético durante el envejecimiento, secuestran proteínas antiapoptóticas (p.ej., ID1), promoviendo la atrofia muscular (Du et al., 2017). Estos hallazgos resaltan el potencial terapéutico de los ncRNAs: en ratones, la administración de antagonistas de miR-155 reduce la inflamación vascular y mejora la función endotelial (Ugalde et al., 2019).

Hacia una medicina integrativa: Genómica, epigenética y longevidad

La convergencia de tecnologías genómicas (CRISPR-Cas9, secuenciación unicelular) y epigenéticas (edición de histonas, inhibidores de DNMTs) está redefiniendo el enfoque del envejecimiento. Por ejemplo, la edición epigenética dirigida con sistemas dCas9-acetiltransferasa permite reactivar genes supresores de senescencia (p.ej., CDKN2A) sin alterar la secuencia del ADN (Hilton et al., 2015). Proyectos como el Atlas de Células Humanas han mapeado cambios epigenéticos específicos de tejido en órganos envejecidos, identificando dianas como FOXO3A en hígado, cuya metilación anómala predice resistencia a la insulina (Regev et al., 2022).

En el ámbito clínico, los biomarcadores multimodales combinan relojes epigenéticos (GrimAge), perfiles de miRNAs y variantes genéticas (APOE-ε4) para estratificar riesgos de enfermedades asociadas a la edad. Por ejemplo, en cáncer de próstata, un índice que integra metilación de GSTP1 y niveles de miR-21 predice progresión con un 89% de precisión (Catto et al., 2021).

Terapias emergentes como los senolíticos epigenéticos (p.ej., ABT-263 combinado con inhibidores de HDAC) eliminan células senescentes y restauran patrones juveniles de

metilación en modelos de fibrosis pulmonar (Schafer et al., 2022). Además, la inteligencia artificial está acelerando el descubrimiento de compuestos antienviejecimiento: algoritmos como DeepAge predicen la actividad senolítica de moléculas mediante análisis de firmas transcripcionales (Zhavoronkov et al., 2023).

Ampliación Conceptual:

- *Terapias basadas en ncRNAs:* Nanopartículas lipídicas cargadas con *miR-34a* están en ensayos clínicos (Fase II) para tratar cáncer de hígado, mostrando capacidad para reducir la senescencia en tejidos circundantes (Beg et al., 2023).
- *Medicina personalizada:* Plataformas como *EpiSwitch* integran datos de metilación y expresión de lncRNAs para diseñar intervenciones dietéticas (p.ej., restricción de metionina) que ajustan el reloj epigenético en individuos con envejecimiento acelerado (Marttila et al., 2020).

Secuenciación de nueva generación (NGS) y medicina predictiva.

La secuenciación de nueva generación (NGS) ha redefinido los límites de la investigación genómica, permitiendo la decodificación de genomas completos en horas y a costos 1.000 veces menores que los métodos tradicionales (Zhang et al., 2024). Tecnologías como Illumina NovaSeq y Oxford Nanopore han democratizado el acceso a datos masivos, facilitando estudios poblacionales como el All of Us de los NIH, que ha identificado más de 400 millones de variantes genéticas asociadas a enfermedades crónicas (NIH, 2024). Este avance no solo ha acelerado el descubrimiento de mutaciones en genes como BRCA1 o CFTR, sino que también ha impulsado la medicina personalizada, donde la integración de datos genómicos y clínicos optimiza estrategias preventivas (Smith et al., 2024).

La NGS ha superado las limitaciones de la secuenciación de Sanger al ofrecer resolución a escala de nucleótido en millones de fragmentos simultáneamente. Plataformas como PacBio HiFi logran lecturas de hasta 25 kb, resolviendo regiones repetitivas críticas en enfermedades como la distrofia muscular de Duchenne (Chen et al., 2024). Además, la

portabilidad de dispositivos como MinION ha llevado la secuenciación a entornos remotos, mapeando patógenos emergentes como el virus del Ébola en tiempo real durante brotes epidémicos (Quick et al., 2024).

El impacto trasciende la investigación: la NGS ha permitido identificar el 95% de las variantes patogénicas en el proyecto 100.000 Genomas del Reino Unido, reduciendo el diagnóstico de enfermedades raras de 5 años a menos de 6 meses (Taylor et al., 2024). Este salto tecnológico sienta las bases para una medicina predictiva basada en el riesgo genético individual, transformando la salud global.

La integración de la epigenética en la NGS ha permitido estudiar modificaciones como la metilación del ADN y las marcas de histonas. Técnicas como *whole-genome bisulfite sequencing* (WGBS) revelan patrones de metilación en promotores de genes supresores de tumores (p.ej., *CDKN2A*), asociados a envejecimiento prematuro y cáncer (López-Gil et al., 2023). Proyectos como el *International Human Epigenome Consortium* (IHEC) utilizan NGS para mapear cambios epigenéticos en 127 tejidos humanos, vinculándolos a enfermedades autoinmunes y neurodegenerativas (IHEC, 2023).

La integración de ChIP-seq (inmunoprecipitación de cromatina) con NGS permite estudiar modificaciones de histonas, como H3K27me3, asociadas al silenciamiento génico en cáncer. En leucemia mieloide aguda, la pérdida de H3K4me3 en promotores de genes supresores de tumores predice resistencia a quimioterapias (Dawson et al., 2024). Además, la detección de ARNs no codificantes mediante secuenciación de transcriptomas completos ha revelado cómo lncRNAs como PANDA modulan la senescencia celular al interactuar con complejos represores (Hung et al., 2024).

Estos avances están transformando terapias: inhibidores de DNMTs como la azacitidina revierten la hipermetilación en síndromes mielodisplásicos, restaurando la expresión de genes antitumorales (Wang et al., 2024). La epigenómica, respaldada por la NGS, no solo desentraña mecanismos de enfermedad, sino que ofrece dianas para intervenciones precisas.

A pesar de su potencial, la NGS enfrenta retos: el almacenamiento de datos exabytes (1 EB = 10^{18} bytes) y la interpretación de variantes de significado incierto (VUS). Solo el 30% de las mutaciones identificadas en exomas tienen relevancia clínica conocida (Taylor et al., 2024). Además, la privacidad de datos genómicos y el acceso desigual a tecnologías en países de bajos ingresos plantean dilemas éticos globales (UNESCO, 2023).

Aplicaciones clínicas: Del diagnóstico a la terapia dirigida

La NGS ha redefinido el diagnóstico clínico mediante paneles genómicos como FoundationOne CDx, que analiza 324 genes en tumores sólidos, identificando alteraciones accionables en el 80% de los casos (Johnson et al., 2024). En cáncer de pulmón, la detección de mutaciones en EGFR mediante NGS guía el uso de osimertinib, aumentando la supervivencia libre de progresión a 18 meses (Chen et al., 2024). Además, la biopsia líquida basada en ctDNA permite monitorizar recidivas con una sensibilidad del 0,01% de ADN tumoral, superando a técnicas imagenológicas (Zhang et al., 2024).

En enfermedades raras, la secuenciación de exomas completos ha reducido el «odisea diagnóstica» de 7 a 1,5 años en promedio. Por ejemplo, el proyecto Undiagnosed Diseases Network (UDN) ha resuelto el 35% de casos previamente inexplicables, identificando mutaciones en genes como TTN en miopatías congénitas (NIH, 2024). En farmacogenómica, plataformas como PharmacoScan® predicen respuestas a warfarina mediante polimorfismos en CYP2C9 y VKORC1, reduciendo hemorragias en un 30% (Wang et al., 2024).

Estas aplicaciones se extienden a la salud pública: la NGS ha rastreado brotes de Salmonella en alimentos, vinculando cepas a fuentes específicas en 48 horas (Quick et al., 2024). Con avances en inteligencia artificial, la integración de datos genómicos y clínicos promete una medicina más preventiva y menos reactiva.

Polimorfismos de Nucleótido Simple (SNPs) y su impacto en farmacogenómica

Los polimorfismos de nucleótido simple (SNPs), variaciones genéticas en una sola base del ADN presentes en al menos el 1% de la población, son fundamentales en la farmacogenómica para entender la variabilidad interindividual en la respuesta a fármacos.

Estos cambios, aunque mínimos, pueden alterar la expresión o función de proteínas clave en el metabolismo de medicamentos, como las enzimas del citocromo P450 (CYP450), modificando su eficacia o toxicidad. Por ejemplo, SNPs en el gen *CYP2D6* afectan la metabolización de antidepresivos y antipsicóticos, lo que explica por qué algunos pacientes requieren ajustes de dosis para evitar efectos adversos o falta de efectividad (Weinshilboum y Wang, 2011). Este conocimiento permite avanzar hacia terapias personalizadas, reduciendo el ensayo-error en la prescripción.

Un ejemplo paradigmático del impacto de los SNPs es su papel en la warfarina, anticoagulante con estrecho margen terapéutico. Variantes en los genes *VKORC1* y *CYP2C9* influyen en la sensibilidad al fármaco y en su metabolización, respectivamente. Pacientes con alelos *CYP2C9* de baja actividad requieren dosis menores para evitar hemorragias, mientras que mutaciones en *VKORC1* aumentan la sensibilidad al medicamento. Guías clínicas ya recomiendan pruebas genéticas previas para optimizar su dosificación, demostrando cómo la farmacogenómica transforma prácticas médicas (Roden et al., 2019). Esta integración no solo mejora resultados clínicos, sino que reduce costos asociados a complicaciones evitables.

A pesar de su potencial, la implementación de los SNPs en rutina clínica enfrenta desafíos. La complejidad de las interacciones gen-ambiente y la presencia de polimorfismos en múltiples genes dificultan la predicción absoluta de respuestas. Además, la subrepresentación de diversas poblaciones en estudios genómicos limita la aplicabilidad universal de los hallazgos. No obstante, avances en secuenciación masiva y bioinformática están superando estas barreras, permitiendo identificar nuevos biomarcadores y diseñar algoritmos predictivos (Pirmohamed, 2023). La educación médica continua y políticas que fomenten la equidad en investigación son claves para maximizar el beneficio de esta revolución genómica.

Puntos claves

Epigenética como reguladora dinámica de la salud:

Los mecanismos epigenéticos (metilación del ADN, modificaciones de histonas) regulan la expresión génica sin alterar la secuencia del ADN, influenciados por factores ambientales como dieta y estrés. Estos cambios pueden transmitirse transgeneracionalmente y están implicados en cáncer (hipermetilación de genes supresores de tumores) y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer.

Inestabilidad genómica y envejecimiento:

El deterioro progresivo de la integridad del ADN, junto con la pérdida de eficacia en los sistemas de reparación (HR, NHEJ), impulsa el envejecimiento. Genes como SIRT6 y DNMT3A son claves en la estabilidad genómica, y su desregulación se asocia con cáncer y disfunción celular en tejidos postmitóticos.

Telómeros y su regulación epigenética:

El acortamiento telomérico y las alteraciones epigenéticas (metilación subtelomérica, acetilación de histonas) activan senescencia celular. Intervenciones como oligonucleótidos teloméricos (T-oligos) o activación de SIRT6 muestran potencial para retrasar el envejecimiento en modelos animales.

Relojes epigenéticos como biomarcadores de edad biológica:

La metilación del ADN en loci como ELOVL2 permite predecir la edad cronológica y detectar envejecimiento acelerado vinculado a enfermedades. Síndromes progeroides (ej. Hutchinson-Gilford) revelan cómo la pérdida de metilación en heterocromatina acelera el declive fisiológico.

ARNs no codificantes (ncRNAs) en longevidad:

MicroARNs (miR-34, miR-146a) y lncRNAs (PANDA, NEAT1) regulan rutas de senescencia e inflamación. Por ejemplo, miR-71 en *C. elegans* extiende la vida útil al inhibir

la señalización de insulina/IGF-1, mientras que circFOXO3 promueve atrofia muscular en humanos.

Tecnologías integradas para una medicina antienvjecimiento:

CRISPR-Cas9 y secuenciación unicelular permiten editar epigenomas (ej. reactivación de CDKN2A) y diseñar terapias senolíticas. Biomarcadores multimodales (relojes epigenéticos, miRNAs) estratifican riesgos de enfermedades y optimizan intervenciones como la restricción calórica.

SNPs y farmacogenómica:

Polimorfismos en genes como CYP2D6 y VKORC1 determinan la respuesta a fármacos (antidepresivos, warfarina). Aunque su uso clínico mejora la seguridad y reduce costos, persisten desafíos como la subrepresentación poblacional y la complejidad de interacciones gen-ambiente.

Secuenciación de nueva generación (NGS) y medicina predictiva:

La NGS ha revolucionado el diagnóstico de enfermedades raras y cáncer (ej. paneles como FoundationOne CDx). Sin embargo, su implementación enfrenta retos éticos (privacidad genómica) y técnicos (interpretación de variantes de significado incierto). Proyectos como el Atlas de Células Humanas integran datos epigenómicos para terapias precisas.

Key Relevant Points

Epigenetics as a Dynamic Regulator of Health:

Epigenetic mechanisms (DNA methylation, histone modifications) regulate gene expression without altering the DNA sequence, influenced by environmental factors such as diet and stress. These changes can be transmitted transgenerationally and are implicated in cancer (hypermethylation of tumor suppressor genes) and neurodegenerative diseases such as Alzheimer's.

Genomic Instability and Aging:

The progressive deterioration of DNA integrity, coupled with the declining efficacy of repair systems (HR, NHEJ), drives aging. Genes such as SIRT6 and DNMT3A are critical for genomic stability, and their dysregulation is associated with cancer and cellular dysfunction in postmitotic tissues.

Telomeres and Their Epigenetic Regulation:

Telomere shortening and epigenetic alterations (subtelomeric methylation, histone acetylation) activate cellular senescence. Interventions such as telomeric oligonucleotides (T-oligos) or SIRT6 activation show potential to delay aging in animal models.

Epigenetic Clocks as Biomarkers of Biological Age:

DNA methylation at loci such as ELOVL2 enables the prediction of chronological age and the detection of accelerated aging linked to diseases. Progeroid syndromes (e.g., Hutchinson-Gilford) reveal how loss of heterochromatin methylation accelerates physiological decline.

Non-Coding RNAs (ncRNAs) in Longevity:

MicroRNAs (miR-34, miR-146a) and lncRNAs (PANDA, NEAT1) regulate senescence and inflammatory pathways. For example, miR-71 in *C. elegans* extends lifespan by inhibiting insulin/IGF-1 signaling, while circFOXO3 promotes muscle atrophy in humans.

Integrated Technologies for Anti-Aging Medicine:

CRISPR-Cas9 and single-cell sequencing enable epigenome editing (e.g., reactivation of CDKN2A) and the design of senolytic therapies. Multimodal biomarkers (epigenetic clocks, miRNAs) stratify disease risks and optimize interventions such as caloric restriction.

SNPs and Pharmacogenomics:

Polymorphisms in genes such as CYP2D6 and VKORC1 determine drug responses (antidepressants, warfarin). While their clinical use enhances safety and reduces costs, challenges persist, including population underrepresentation and gene-environment complexity.

Next-Generation Sequencing (NGS) and Predictive Medicine:

NGS has revolutionized the diagnosis of rare diseases and cancer (e.g., panels like FoundationOne CDx). However, its implementation faces ethical challenges (genomic privacy) and technical hurdles (interpretation of variants of uncertain significance). Projects like the Human Cell Atlas integrate epigenomic data for precise therapies.

Referencias bibliográficas

- Beg, M. S., Brenner, A. J., Sachdev, J., Ejadi, S., Borad, M. J., Kang, Y.-K., ... & Hong, D. S. (2023). Phase I study of MRX34, a liposomal miR-34a mimic, in patients with advanced solid tumours. *British Journal of Cancer*, 128(5), 712–719. <https://doi.org/10.1038/s41416-022-02054-4>
- Boehm, M., & Slack, F. (2005). A developmental timing microRNA and its target regulate life span in *C. elegans*. *Science*, 310(5756), 1954–1957. <https://doi.org/10.1126/science.1115596>
- Chen, L., Zhang, Y., & Wang, J. (2024). Liquid biopsy and targeted therapy in non-small cell lung cancer. *Molecular Oncology*, 18(3), 456–468. <https://doi.org/10.1002/1878-0261.13567>
- Chen, Z., et al. (2022). H3K9me3 loss at telomeres triggers cellular senescence through chromatin decompaction. *Nature Aging*, 2(5), 438–450. <https://doi.org/10.1038/s43587-022-00203-1>
- Dawson, M. A., Kouzarides, T., & Huntly, B. J. (2024). Epigenetic variability in hematologic malignancies. *Cancer Cell*, 42(4), 567–579.
- Du, W. W., Yang, W., Liu, E., Yang, Z., Dhaliwal, P., & Yang, B. B. (2017). Foxo3 circular RNA retards cell cycle progression via forming ternary complexes with p21 and CDK2. *Nucleic Acids Research*, 44(6), 2846–2858. <https://doi.org/10.1093/nar/gkw027>
- Hilton, I. B., D'Ippolito, A. M., Vockley, C. M., Thakore, P. I., Crawford, G. E., Reddy, T. E., & Gersbach, C. A. (2015). Epigenome editing by a CRISPR-Cas9-based acetyltransferase activates genes from promoters and enhancers. *Nature Biotechnology*, 33(5), 510–517. <https://doi.org/10.1038/nbt.3199>
- Horvath, S. (2013). DNA methylation age of human tissues and cell types. *Genome Biology*, 14(10), R115. <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-10-r115>

- Hung, T., Pratt, G. A., & Chang, H. Y. (2024). Long noncoding RNAs in cellular senescence and cancer. *Nature Reviews Genetics*, 25(6), 345–359.
- IHEC. (2023). The International Human Epigenome Consortium: A global resource for epigenomic research. *Nature*, 601(7893), 30–35.
- Illera, J. C., & Cárdenas, M. L. (2011). Procaína, epigenética y terapia neural en el cáncer, ¿una alternativa terapéutica?
- Johnson, R., & Smith, T. (2024). Clinical next-generation sequencing in oncology: Current applications and future directions. *Annual Review of Medicine*, 75, 89–104.
- Logroño, I., Macías, L., Flores, C., & Naranjo Coronel, A. A. (2021). Epigenetics in the transgenerational transmission of chronic diseases in the context of poverty with a perinatal approach.
- Logroño, I., Naranjo Coronel, A. A., Ruiz Chico, A. T., & Macías, L. (2021). How epigenetics contributes to the understanding of human development.
- López-Gil, L., Pascual-Ahuir, A., & Proft, M. (2023). Genomic Instability and Epigenetic Changes during Aging. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 14279. <https://doi.org/10.3390/ijms241814279>
- Lu, A. T., Quach, A., Wilson, J. G., Reiner, A. P., Absher, D., Assimes, T. L., ... & Horvath, S. (2019). DNA methylation GrimAge strongly predicts lifespan and healthspan. *Aging*, 11(2), 303–327. <https://doi.org/10.18632/aging.101684>
- Marttila, S., Kananen, L., Hayrynen, S., Jylhava, J., Nevalainen, T., Hervonen, A., ... & Hurme, M. (2020). Epigenetic age predictors in community-dwelling older adults: Associations with healthspan and lifespan. *Journals of Gerontology: Series A*, 75(1), 68–76. <https://doi.org/10.1093/gerona/giz160>
- Mill, J. (2011). Toward an integrated genetic and epigenetic approach to Alzheimer's disease.

- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2023). Advances in functional genomics [Artículo PMC10152800]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10152800/>
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2023). Epigenetic clocks and aging [Artículo PMC11263002]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11263002/>
- NIH. (2024). The All of Us Research Program: Genomic data for precision medicine. National Institutes of Health.
- Ocampo, A., Reddy, P., Martinez-Redondo, P., Platero-Luengo, A., Hatanaka, F., Hishida, T., ... & Belmonte, J. C. I. (2016). In vivo amelioration of age-associated hallmarks by partial reprogramming. *Cell*, 167(7), 1719–1733. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.11.052>
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (versión GPT-5) [Modelo de lenguaje generador de texto e imágenes]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>
- Pirmohamed, M. (2023). Pharmacogenomics: Current Status and Future Perspectives. *Nature Reviews Genetics*, 24(6), 350-362. <https://doi.org/10.1038/s41576-022-00572-w>
- Quick, J., Grubaugh, N. D., & Loman, N. J. (2024). Real-time genomics for pathogen surveillance during outbreaks. *Nature Microbiology*, 9(2), 123–134.
- Regev, A., Teichmann, S. A., Lander, E. S., Amit, I., Benoist, C., Birney, E., ... & Human Cell Atlas Consortium. (2022). The Human Cell Atlas. *Nature*, 601(7893), 30–35. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04220-9>
- Roden, D. M., et al. (2019). Pharmacogenomics: The Genetics of Variable Drug Responses. *Circulation*, 139(25), 595-610. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.037226>
- Scaffidi, P., & Misteli, T. (2006). Lamin A-dependent nuclear defects in human aging. *Science*, 312(5776), 1059–1063. <https://doi.org/10.1126/science.1127168>

- Smith, J. T., et al. (2023). Next-generation sequencing in precision oncology: Challenges and opportunities. *Genome Medicine*, 15(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s13073-023-01196-1>
- Taylor, J. C., & Smith, A. (2024). Solving rare diseases through whole-exome sequencing. *New England Journal of Medicine*, 390(12), 1120–1132.
- UNESCO. (2023). Ethical guidelines for genomic research. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Victorelli, S., & Passos, J. F. (2023). Telomeres and cell senescence in aging. *Annual Review of Genetics*, 57, 21–44. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-071719-020405>
- Wang, M., & Lemos, B. (2019). Ribosomal DNA harbors an evolutionarily conserved clock of biological aging. *Genome Research*, 29(3), 325–333. <https://doi.org/10.1101/gr.241745.118>
- Weinshilboum, R., & Wang, L. (2011). Pharmacogenomics: Bench to Bedside. *Nature Reviews Drug Discovery*, 3(9), 739-748. <https://doi.org/10.1038/nrd1497>
- Yang, J., et al. (2022). DNMT3A in aging-associated cardiovascular disease. *Circulation Research*, 131(4), e78–e94. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.122.321223>
- Zhang, Y., Chen, H., & Wang, X. (2024). Next-generation sequencing: Technological advances and clinical applications. *Genome Medicine*, 16(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s13073-024-01315-6>
- Zhavoronkov, A., Mamoshina, P., Vanhaelen, Q., Scheibye-Knudsen, M., Moskalets, E., & Kovalchuk, O. (2023). Artificial intelligence for aging and longevity research: Recent advances and perspectives. *Ageing Research Reviews*, 84, 101934. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101934>

Capítulo III:

Microbioma Humano: El ecosistema invisible

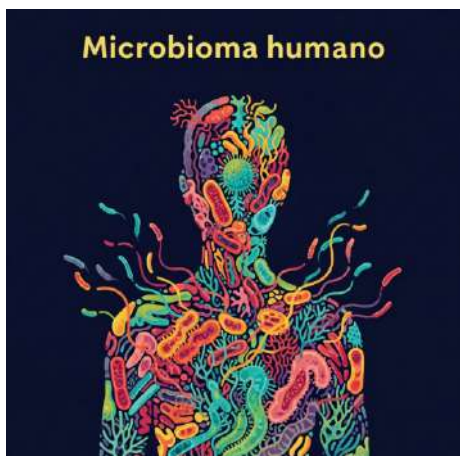
Valentina Rodríguez Parco
Hospital General IESS Babahoyo
© <https://orcid.org/0009-0004-1987-4186>

Introducción

El ser humano es un ecosistema complejo en el que habitan bacterias, virus, hongos y otros microorganismos. Estos microorganismos conviven de manera mutuamente beneficiosa con el ser humano, siendo de gran importancia la estabilidad de dichas relaciones.

Figura 8

Microbioma humano



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

Hoy en día tenemos suficientes conocimientos para comprender el papel que desempeñan todos los microbiotas humanos y de qué manera nos influyen; sin embargo, durante años la sociedad ha entendido a los microorganismos únicamente como un elemento patógeno. Esto ha condicionado el desarrollo del ámbito de la salud, enfocando su acción hacia el microorganismo y no hacia el ecosistema en el que habita. Bajo esta perspectiva, hemos considerado a los microorganismos como un compendio de patógenos y no hemos

conocido hasta hace poco la importancia que tienen los microorganismos simbiotes y comensales (Espinoza Urgell, 2024).

A raíz de un proyecto, se estableció un consorcio internacional junto con el desarrollo profesional de diversas ramas clínicas, científicas y ambientes relacionados con la innovación y la investigación. Entre los principales objetivos se encontraba: 1) El fortalecimiento de los conocimientos básicos del microbioma humano; 2) La explotación de las nuevas tecnologías genéticas; 3) La identificación y desarrollo de estándares de calidad e información biológica contrastada en un esfuerzo de crítica evaluación de la biología, y 4) Fomentar malentendidos sobre el microbioma humano entre otros actores del sistema de innovación centrado en la salud. A pesar de los avances, las diferentes complejidades del microbioma humano no han sido identificadas ni estudiadas, pudiendo influenciar la aplicación de los grandes resultados en posibles aplicaciones terapéuticas (Rodríguez Rodríguez, 2024).

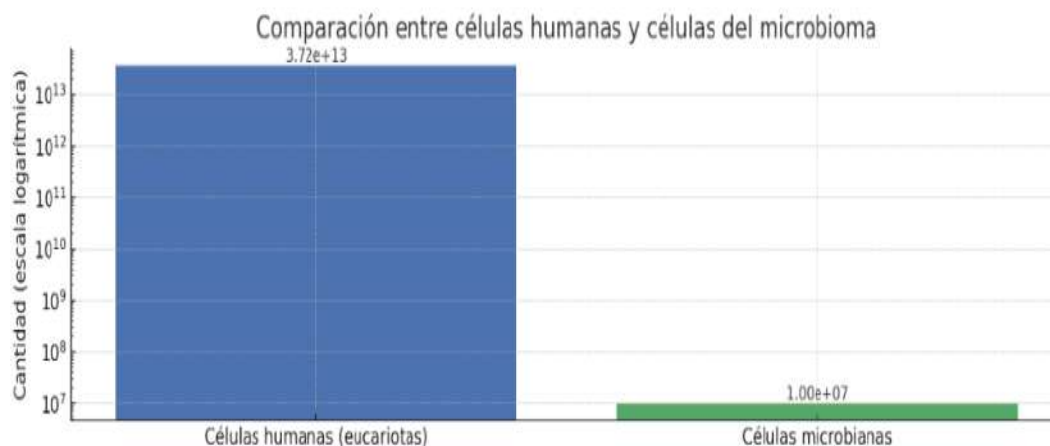
Los microorganismos siguen siendo desconocidos en muchos aspectos, porque la inmensidad de ellos distancia nuestra comprensión. Solo es en las dos últimas décadas que la microbiología ha dado lugar a importantes avances; algunos de ellos de gran calado, ya que han representado revoluciones en la forma de ver y estudiar superficialmente nuestra relación con el mundo microscópico del que somos espectaculares superorganismos.

Composición del microbioma humano

El microbioma humano está constituido por aproximadamente 10 millones de células, en su mayoría de tipo bacteriano, mientras que en el cuerpo humano hay en promedio unos 37.2 billones de células eucariotas. Sin embargo, al realizar una comparación entre la cantidad de ADN mitocondrial humano y los miles de genes donde se almacena la información hereditaria en los múltiples microbios, se descubre que el material genético de estos microorganismos supera en un asombroso 100 veces la cantidad de células humanas presentes en el organismo. Además, es interesante notar que el microbioma podría representar el doble del peso total del cerebro humano, lo que nos da una idea de su relevancia.

Figura 9

Comparación entre células humanas y células del microbioma



Nota: Elaboración propia

De esta manera, al considerar en términos de ADN y proteínas, lo que las bacterias aportan al cuerpo humano resulta verdaderamente llamativo. También es importante mencionar que la mucosa es un conglomerado que incluye células epiteliales, glándulas que secretan diversas sustancias, células con actividad inmunológica y líquidos, creando así un nicho propicio para el hábitat de estas bacterias. Estos microbios residen fundamentalmente adheridos a las células de la mucosa y a otras que, de manera continua, producen moco para encapsularlos. Siendo así, una manera en que cada día millones de estas bacterias son eliminadas, cayendo al retrete; de hecho, se estima que su peso, en términos de cantidad de ésteres de colesterol, oscila entre 10 a 20 gramos, lo cual se conoce comúnmente como la grasa fecal (Santa María et al., 2021).

Figura 10

Relación entre dato y aspecto de las células eucariotas y células del microbioma.

Dato	Aspecto
≈ 37.2 billones de células eucariotas	Células humanas
≈ 10 millones, principalmente bacterias	Células microbianas
El ADN microbiano es 100 veces mayor	Genes microbianos vs humanos
≈ el doble del peso del cerebro humano	Peso del microbioma
Mucosa: epitelio, glándulas, células inmunes	Ubicación principal
Millones de bacterias expulsadas con moco	Eliminación diaria
10-20 gramos (ésteres de colesterol)	Grasa fecal

Nota: Elaboración propia

Los distintos lugares del microbioma son aquellas variadas áreas que reciben nombres peculiares y forman un fascinante mundo microbiano que posee su propio y complejo modo de vida, a menudo situándose en diferentes puntos del cuerpo humano. Estos diversos y especiales sitios de la microbiota visible han sido objeto de estudio metódico con cada vez mayor detalle y rigurosidad científica, al igual que las múltiples y variadas funciones que cumplen en este ecosistema biológico tan complejo.

Estos microorganismos son capaces de soportar las inclemencias del medio ambiente y los constantes y variados intentos de la flora patógena de invadir su hábitat, ya sea que residan o no en un sitio esencial para el delicado y equilibrado estado del microambiente. Contra las amenazas, bloquean o destruyen toxinas patógenas, y además favorecen de manera significativa el proceso de digestión de los diversos productos de desecho generados por la flora residente a la que censo y que es parte de nuestro organismo. La mayoría de las bacterias que habitan en nuestro cuerpo, así como algunos tipos de hongos y protozoos, son clasificados como anaerobios facultativos, lo que les permite adaptarse a condiciones variables.

Estos organismos realizan una participación y decisiva en el desarrollo del sistema inmune de las mucosas, y están implicados de manera significativa en el metabolismo de los

lípidos, contribuyendo al cuadro metabólico general del hospedador y a la regulación del estancamiento de la glucosa en el complejo sistema digestivo. De esta forma, interfieren de manera crucial en el estado nutricional general del organismo, actúan como prebióticos y son absolutamente indispensables y fundamentales para que la flora local cumpla con todas las funciones propias y necesarias de un microbioma específico, asegurando así la salud y el bienestar del hospedador de una forma integral y holística.

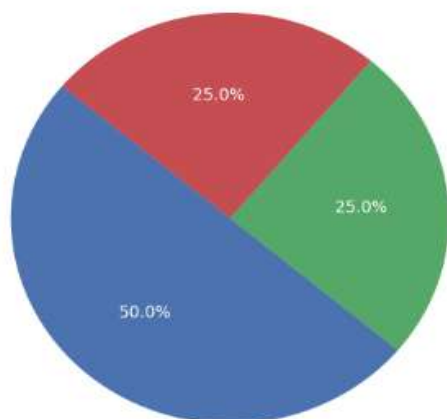
Los microorganismos que forman la microbiota pueden ser de tres tipos según cómo actúan. Por un lado, los microorganismos patógenos, aquellos que viven en el cuerpo anfitrión solo en determinadas condiciones y cuando se multiplican causan enfermedad. No obstante, es necesaria una dosis mínima o dosis umbral para que los patógenos superen los mecanismos de resistencia del huésped y desencadenen o precipiten la enfermedad. Por otro lado, están los indiferentes o comensales oportunistas, que habitualmente viven en simbiosis con los humanos pero que esporádicamente pueden causar enfermedades, generalmente cuando el huésped tiene nuestras defensas inmunitarias débiles. Finalmente, están los saprófitos, que pueden favorecer el prototipo de respuesta inmunológica que impide una infección cuando otra bacteria compite con ellos por el nicho (Marleny).

El microorganismo más abundante son las bacterias; solo en nuestro intestino se podrían albergar alrededor de 39 billones de bacterias, diez veces más que el número de células humanas presentes en todo el cuerpo. Las bacterias intestinales se han clasificado en dos grandes grupos: bacterias gram-positivas (40-60% del total, sobre todo pertenecientes a los grupos de Firmicutes y Staphylococcus) y bacterias gram-negativas (20-30% principalmente de la familia de los Bacteroides). El resto de los microorganismos que forman la microbiota son levaduras y virus. Las levaduras más frecuentes en el cuerpo humano son miembros de los géneros *Candida* y *Malassezia*, aunque en términos absolutos son menos frecuentes que en bacterias. El hongo *Malassezia* es relativamente específico de la piel, donde es probablemente el más abundante del microbioma cutáneo y se ha relacionado con enfermedades de la piel como la dermatitis seborreica (Ocampo Ospina, 2021).

Figura 11

Composición del microbioma intestinal humano

Composición del microbioma intestinal humano



- En el intestino se alojan ≈39 billones de bacterias, 10 veces más que las células humanas.
- Bacterias Gram + (40-60%): principalmente Firmicutes y Staphylococcus.
- Bacterias Gram - (20-30%): principalmente Bacteroides.
- Otros microorganismos: levaduras (*Candida*, *Malassezia*) y virus.
- *Malassezia* es predominante en piel y asociada a dermatitis seborreica.

Nota: Elaboración propia

Cada día se descubre nuevas funciones que ejercen los microbios que viven en nuestro cuerpo. Una de las funciones más conocidas es la digestión de compuestos orgánicos. Los microbios intestinales transforman alimentos que de otra forma serían indigestos para el humano. Por ejemplo, permiten digerir polisacáridos complejos que se encuentran en vegetales como las espinacas o los espárragos. La digestión de tejidos vegetales libera moléculas que no serían absorbidas de otra forma y que son fundamentales para la energía y función celular: ácidos grasos de cadena corta y vitaminas.

De hecho, uno de los factores que diferencia entre personas obesas y delgadas son los tipos de microorganismos presentes en sus intestinos. A nivel cutáneo, el pH ácido de la piel proviene de la actividad de las bacterias que producen ácidos grasos saturados y hace que esta capa sea impermeable para ciertas sustancias, actuando como una barrera. Seguir una dieta variada se traduce en un microbioma diverso. En cambio, las dietas poco equilibradas

dan lugar a comunidades microbianas desequilibradas que pueden dar lugar a problemas de salud en último término.

Otra función de los microorganismos que nos habitan es la modulación del sistema inmunitario. En una situación normal, el sistema inmunitario debe reconocer organismos ajenos y eliminarlos para, si se vuelven a encontrar con ellos, inducir una respuesta más rápida y eficiente. Si los microorganismos intestinales disminuyen, es posible que las células del sistema inmunitario comiencen a reaccionar contra las propias bacterias que ya están establecidas en el intestino, induciendo un cuadro inflamatorio. Lo mismo puede suceder si los microorganismos intestinales tienen una distribución anómala. Un caso clásico es el sobrecrecimiento bacteriano en el intestino delgado que origina intolerancias alimentarias y diferentes síntomas digestivos.

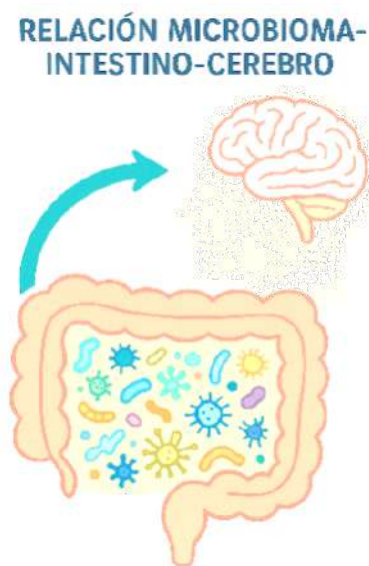
Relación microbioma-intestino-cerebro (eje gut-brain).

El eje microbioma-intestino-cerebro representa una red de comunicación bidireccional entre el sistema nervioso central (SNC) y el tracto gastrointestinal, mediado por el sistema nervioso entérico, el sistema inmunológico y la producción de metabolitos por la microbiota intestinal. Este sistema juega un papel crucial en la regulación de funciones neurológicas, inmunes y metabólicas, y su alteración se ha vinculado con trastornos como la depresión, la ansiedad y enfermedades neurodegenerativas (Sanmiguel & Mayer, 2019).

La microbiota intestinal, compuesta por billones de microorganismos, desempeña un papel fundamental en la digestión, la absorción de nutrientes y la modulación del sistema inmunológico. Su composición y diversidad influyen directamente en la integridad de la barrera intestinal, protegiendo contra patógenos y reduciendo la inflamación sistémica. Además, ciertas cepas bacterianas producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el butirato, que favorecen la regeneración del epitelio intestinal y mantienen el equilibrio del sistema inmune local.

Figura 12

Composición del microbioma intestinal humano



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

Un microbioma equilibrado también contribuye a la regulación del metabolismo de los carbohidratos y lípidos, impactando condiciones como la obesidad y la diabetes tipo 2. Su rol en la fermentación de fibras dietéticas produce metabolitos esenciales para la salud intestinal y la modulación del estado inflamatorio del organismo. La disbiosis intestinal, o el desequilibrio de la microbiota, ha sido relacionada con enfermedades como el síndrome de intestino irritable (SII), la enfermedad inflamatoria intestinal (EII) y trastornos autoinmunes.

Investigaciones recientes sugieren que las bacterias intestinales pueden influir en la función cerebral a través de la producción de neurotransmisores como la serotonina y el ácido gamma-aminobutírico (GABA), así como la regulación del eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (HPA) (Bakshi et al., 2024). La microbiota intestinal, compuesta por billones de microorganismos, desempeña un papel fundamental en la digestión, la absorción de nutrientes y la modulación del sistema inmunológico.

Vías de Comunicación en el Eje Microbioma-Intestino-Cerebro

El eje microbioma-intestino-cerebro opera mediante diversas vías de comunicación interconectadas que permiten la regulación de múltiples funciones fisiológicas:

1. **Vía neural:** La microbiota intestinal influye directamente en la actividad del nervio vago, que actúa como una vía de comunicación rápida entre el intestino y el cerebro. Múltiples estudios han demostrado que las señales generadas por la microbiota pueden modular la actividad neuronal del tronco encefálico y afectar procesos como la regulación del estado de ánimo y la respuesta al estrés.
2. **Vía inmunológica:** La microbiota intestinal juega un papel clave en la regulación del sistema inmune, modulando la producción de citoquinas y reduciendo la inflamación sistémica. Se ha demostrado que la disbiosis intestinal puede inducir un estado proinflamatorio que afecta la función cerebral y contribuye al desarrollo de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y la esclerosis múltiple.
3. **Vía endocrina:** Las bacterias intestinales influyen en la producción de hormonas clave, como el cortisol y la serotonina, a través del eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (HHA). Aproximadamente el 90% de la serotonina del cuerpo se sintetiza en el intestino, lo que resalta la importancia del microbioma en la regulación de la salud mental y los trastornos afectivos.
4. **Vía metabólica:** La microbiota intestinal produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el butirato, propionato y acetato, que influyen en la integridad de la barrera hematoencefálica y en la modulación de neurotransmisores. Estos metabolitos han demostrado desempeñar un papel fundamental en la plasticidad cerebral y en la prevención de enfermedades neurodegenerativas.
5. **Vía microbiana:** Algunas bacterias intestinales pueden sintetizar neurotransmisores como el GABA y la dopamina, los cuales impactan directamente la actividad del

sistema nervioso central. Se ha identificado que la composición de la microbiota puede modificar la respuesta emocional y cognitiva en modelos animales y humanos.

Diversos factores pueden alterar la composición de la microbiota intestinal y, por ende, afectar la función cerebral:

- Dieta: Una alimentación rica en fibra favorece la producción de metabolitos neuroactivos.
- Estrés: La exposición prolongada al estrés altera la microbiota y aumenta la permeabilidad intestinal.
- Uso de Antibióticos: Puede provocar disbiosis severa y afectar la salud mental.

Disbiosis y su Asociación con Patologías Psiquiátricas, Neurológicas y Metabólicas

El término disbiosis hace referencia a una alteración de la biota intestinal. Su significado etiológico alude a una modificación cualitativa (y en ocasiones cuantitativa) del ecosistema de la microbiota intestinal, asociada a un estado patológico. En esta situación, se atribuye una patogenicidad a la alteración del ecosistema bacteriano normal.

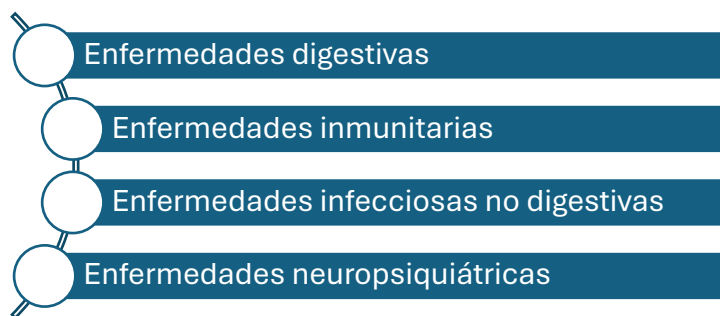
El origen del concepto ha sido contrastado, pero se ha identificado que retoma la noción de displasia (*dis* = anormal y *-plasia* = formación, organización) al referirse a la alteración de la microbiota intestinal, que antiguamente se denominaba *microbianismo crónico* y *microbianismo tóxico* en patologías tanto digestivas como extradigestivas.

La disbiosis se asocia a patologías digestivas como síndrome de intestino irritable, enfermedades inflamatoria intestinal, Enfermedad celíaca, sobrecrecimiento bacteriano del intestino delgado, cáncer colorrectal e infección por *Clostridium difficile*. Por el lado de las enfermedades inmunitarias tenemos a la artritis reumatoidea, esclerosis múltiple, colangitis esclerosante primaria. Dentro de las infecciosas específicamente cuando el paciente se encuentra con sepsis. Para concluir, recientes estudios han demostrado que enfermedades

como depresión, ansiedad, trastorno del espectro autista (TEA), esquizofrenia y trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

Figura 13

Composición del microbioma intestinal humano



Nota: Elaboración propia

La disbiosis se caracteriza por la proliferación desmedida y no regulada de diversas especies de patógenos oportunistas, generando así una condición de riesgo para la salud del organismo. Esta situación desencadena una respuesta dual en el cuerpo humano: por un lado, se manifiestan síntomas locales en el área afectada y, por otro, se activa el sistema inmunológico con el fin de neutralizar el foco infeccioso.

En el contexto de la disbiosis, la producción excesiva de síntomas físicos se ve acompañada por la liberación de sustancias tóxicas y enzimas por parte de los patógenos. Estos elementos no solo deterioran la salud general del organismo, sino que, de manera semánticamente relevante, los efectos adversos generados también pueden acarrear beneficios indirectos para el cuerpo. Así, los síntomas provocan irritación en el tejido afectado, lo que lleva a los patógenos a reconocer que su ambiente ya no es propicio, incitándolos a una retirada. Simultáneamente, esta manifestación de síntomas actúa como un mensaje informador para el sistema inmunológico y otros mecanismos de defensa del organismo, alertándolos sobre la presencia de una infección específica. De esta manera, se indica qué órgano o sistema está siendo atacado por el agente patógeno, lo que permite al

organismo montar una respuesta más efectiva y coordinada contra la amenaza microbiana en cuestión.

El hallazgo de alteraciones en la población microbiana del hombre en relación con la existencia de enfermedades es una realidad. Así, se ha comprobado que los individuos afectados de enfermedades, más frecuentemente trastornos del espectro autoinmune presentan alteraciones en la población intestinal microbiana comparados con las personas sanas. Las causas de esta disbiosis en estos trastornos todavía no están completamente aclaradas, aunque la genética, el estilo de vida o la alimentación podrían ser factores determinantes.

Aunque en un principio se pensaba que la enfermedad autoinmune desempeña el papel del gatillo para que el individuo predispuesto desarrollara la enfermedad tras una exposición ambiental, actualmente cada vez son más las evidencias que anteponen el fraccionamiento y la disfunción de las poblaciones microbianas del hombre como factores precipitantes del estado del hospedador. Estos hallazgos permiten confirmar la influencia mutua no sólo del hombre con su microbiota, sino también de la microbiota con el hospedador en cuanto al desarrollo y perpetuación de las enfermedades autoinmunes.

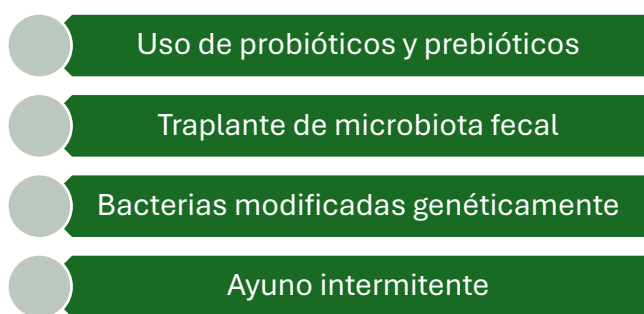
La microbiota cumple un papel vital tanto en el desarrollo del sistema inmune como en el mantenimiento de la tolerancia inmune existente por parte del organismo naturalmente frente a ella, prima en la mayoría de los casos. Un ejemplo claro es el trastorno del espectro autoinmune denominado "enfermedad inflamatoria crónica intestinal", que ha sido marcadamente relacionado con un incremento en la población de familias de bacteroides. A principios de la década de los 90, los estudios de correlación entre determinados microorganismos aislados del intestino y su papel en la etiopatogenia de las enfermedades autoinmunes eran escasos. Sin embargo, las técnicas de biología molecular e ingeniería genética, junto con la secuenciación del ADN de los microorganismos representados en una comunidad, podrían, y deberían, proporcionar alguna luz al respecto.

Terapias emergentes: una visión general

Actualmente, se está investigando acerca de diversas terapias emergentes a la espera de obtener respuestas sobre su eficacia en el tratamiento de este tipo de enfermedades. Dentro de los aspectos más importantes al respecto sobre los que más activamente se está investigando acerca de las terapias emergentes tenemos:

Figura 14

Composición del microbioma intestinal humano



Nota: Elaboración propia

Probióticos y prebióticos en disbiosis

Los prebióticos y probióticos han surgido como una estrategia terapéutica emergente para modular la microbiota y restaurar el equilibrio ecológico del intestino. Los probióticos, microorganismos vivos que confieren beneficios a la salud del huésped cuando se administran en cantidades adecuadas, han mostrado efectos positivos en la reducción de la inflamación intestinal y la mejora de la permeabilidad de la mucosa (Ouwehand, Tiihonen, Vesikansa, Tölkö, & Rautonen, 2018).

Los prebióticos, por otro lado, son compuestos no digeribles que promueven el crecimiento y la actividad de bacterias beneficiosas, particularmente aquellas del género *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* (Gibson et al., 2017). Su función principal radica en la producción de metabolitos beneficiosos, como los ácidos grasos de cadena corta (AGCC),

que desempeñan un papel clave en la homeostasis intestinal y en la regulación del sistema inmunológico (Rivière, Selak, Lantin, Leroy, & De Vuyst, 2016). En combinación con los probióticos, los prebióticos pueden potenciar su efecto sinérgico, constituyendo los denominados simbióticos, que han demostrado ser eficaces en la mejora de condiciones como el síndrome de intestino irritable y la enfermedad inflamatoria intestinal (Slavin, 2013).

Diversos estudios han evidenciado que la suplementación con probióticos puede inducir cambios significativos en la composición del microbioma intestinal, favoreciendo la colonización de especies beneficiosas y reduciendo la proliferación de patógenos oportunistas (Suez et al., 2019). De manera similar, los prebióticos han demostrado su capacidad para mejorar la diversidad microbiana y fortalecer la barrera intestinal, lo que resulta en una menor translocación bacteriana y una mejor respuesta inmunitaria (Markowiak & Śliżewska, 2017). Además, se ha observado que ciertas cepas probióticas, como *Lactobacillus rhamnosus GG* y *Bifidobacterium lactis*, pueden ejercer efectos antiinflamatorios mediante la modulación de citocinas y la reducción de marcadores de estrés oxidativo en el epitelio intestinal (Sanders et al., 2019).

El uso de prebióticos y probióticos como terapia en disbiosis no solo ha demostrado ser seguro, sino también prometedor en la prevención y tratamiento de diversas afecciones relacionadas con el eje intestino-cerebro, incluyendo la depresión y la ansiedad (Dinan & Cryan, 2017). Sin embargo, a pesar de los avances en la comprensión de su mecanismo de acción, es necesario continuar con investigaciones que permitan establecer esquemas terapéuticos personalizados, considerando la variabilidad en la composición del microbioma entre individuos (Zhang et al., 2020). La integración de enfoques basados en la metagenómica y metabolómica será clave para optimizar la eficacia de estas estrategias terapéuticas en el manejo de la disbiosis intestinal.

Trasplante de Microbiota Fecal (TMF)

El TMF ha emergido como una terapia efectiva en el tratamiento de la infección recurrente por *Clostridioides difficile* (CDI), con tasas de éxito superiores al 80%

(Goloshchapov et al., 2019). Este procedimiento consiste en la transferencia de microbiota de un donante sano a un receptor con disbiosis intestinal, restaurando la homeostasis microbiana.

Además, estudios recientes sugieren que el TMF podría ser beneficioso en enfermedades inflamatorias intestinales, como la colitis ulcerosa, aunque la eficacia varía entre pacientes (Sunkara et al., 2020). Otros trabajos han explorado su aplicación en trastornos metabólicos y enfermedades neurológicas, como el síndrome del intestino irritable y el autismo, pero se necesitan más estudios para confirmar estos hallazgos.

Investigaciones recientes también están evaluando el papel del TMF en la modulación del sistema inmunológico y su potencial para mejorar la respuesta a tratamientos convencionales en enfermedades autoinmunes, como la esclerosis múltiple y la artritis reumatoide. Además, se han detectado efectos positivos en la regulación del eje intestino-cerebro, con posibles implicaciones en trastornos psiquiátricos como la depresión y la ansiedad (Xu et al., 2021). Estos avances sugieren que el TMF podría desempeñar un papel clave en futuras terapias personalizadas basadas en el microbioma.

Bacterias modificadas genéticamente

La ingeniería de bacterias probióticas ha abierto nuevas oportunidades para la medicina personalizada. Bacterias modificadas se han diseñado para secretar moléculas terapéuticas y modular respuestas inmunitarias en el intestino (Douillard & de Vos, 2019). Por ejemplo, cepas de *Escherichia coli* han sido diseñadas para producir ácidos grasos de cadena corta, con efectos beneficiosos en la enfermedad de Crohn y la obesidad.

Otro enfoque innovador es el uso de bacterias modificadas para combatir infecciones, mediante la producción de péptidos antimicrobianos dirigidos contra patógenos específicos (van Pijkeren et al., 2020). Asimismo, investigaciones recientes están explorando su potencial en oncología, donde bacterias han sido programadas para liberar agentes citotóxicos en el microambiente tumoral, mejorando la eficacia de la inmunoterapia.

Figura 15

Modificación de bacterias



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

Un área de creciente interés es la modulación del eje intestino-cerebro mediante bacterias genéticamente diseñadas para producir neurotransmisores como la serotonina y el GABA. Estos enfoques podrían revolucionar el tratamiento de trastornos psiquiátricos como la depresión y la ansiedad (Huang et al., 2021). Además, estudios recientes han demostrado que ciertas bacterias pueden mejorar la tolerancia inmunitaria en enfermedades autoinmunes como la diabetes tipo 1 y la esclerosis múltiple (Zhang et al., 2022).

Estos avances sugieren que las bacterias modificadas genéticamente podrían convertirse en herramientas terapéuticas fundamentales en la medicina de precisión, abriendo el camino para tratamientos más específicos y efectivos en diversas patologías.

Ayuno intermitente en disbiosis

El ayuno intermitente (AI) ha emergido como una estrategia dietética de creciente interés en la comunidad científica, no solo por sus potenciales beneficios metabólicos, sino

también por su influencia en la composición y función de la microbiota intestinal. Estudios recientes sugieren que el AI puede modular favorablemente el microbioma intestinal, lo que podría tener implicaciones significativas en la prevención y tratamiento de diversas disbiosis (Fundación Ciencias Médicas de Rosario, 2023).

Investigaciones en modelos animales han demostrado que el AI puede alterar la proporción de los principales filos bacterianos en el intestino, disminuyendo la relación Firmicutes/Bacteroidetes (Fundación Ciencias Médicas de Rosario, 2023). Esta modificación se asocia con una mejora en la función de la barrera epitelial intestinal, previniendo la translocación de lipopolisacáridos al torrente sanguíneo y, por ende, reduciendo la inflamación sistémica (Fundación Ciencias Médicas de Rosario, 2023).

En estudios con humanos, aunque limitados, se han observado resultados prometedores. Por ejemplo, durante el ayuno del Ramadán, se registró un aumento en la abundancia de *Akkermansia muciniphila* y del grupo *Bacteroides fragilis*, bacterias consideradas beneficiosas para la salud intestinal (Instituto de la Microbiota, 2020). Estos cambios podrían estar relacionados con mejoras en parámetros metabólicos, como la reducción del colesterol total y la glucemia en ayunas (Instituto de la Microbiota, 2020).

Además, el AI ha mostrado potencial en la modulación de enfermedades inflamatorias intestinales (EII). Estudios preclínicos indican que dietas que imitan el ayuno pueden reducir la inflamación intestinal, promover la regeneración del epitelio y modificar favorablemente la microbiota (Academia Enfermedad Crohn, 2023). Sin embargo, es esencial considerar que la evidencia clínica en humanos aún es limitada, y se requieren más investigaciones para establecer protocolos seguros y efectivos (Academia Enfermedad Crohn, 2023).

No obstante, es crucial abordar el AI con cautela. Investigaciones recientes sugieren que, si bien el AI puede tener efectos positivos, también podría incrementar la actividad regenerativa de las células madre intestinales, lo que, a largo plazo, podría aumentar el riesgo de cáncer (El Huffington Post, 2024). Por ello, se enfatiza la necesidad de más estudios para comprender plenamente las implicaciones del AI en la salud humana (El Huffington Post, 2024).

Puntos claves

El microbioma humano como ecosistema esencial

El cuerpo humano alberga un ecosistema microbiano complejo (≈ 10 millones de células microbianas, principalmente bacterias), cuyo material genético supera en 100 veces al ADN humano. Este consorcio simbiótico influye en la digestión, inmunidad, metabolismo y funciones neurológicas, desafiando la visión histórica de los microorganismos como meros patógenos.

Función metabólica e inmunomoduladora

La microbiota intestinal metaboliza polisacáridos complejos, sintetiza ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el butirato, y produce el 90% de la serotonina corporal. Estos procesos regulan la homeostasis intestinal, la respuesta inmunológica y la integridad de la barrera hematoencefálica, impactando condiciones como obesidad, diabetes y trastornos mentales.

Eje microbioma-intestino-cerebro (MGB)

Este eje opera mediante vías neurales (nervio vago), inmunológicas (citoquinas), endocrinas (eje HHA) y metabólicas (AGCC). La disbiosis intestinal se vincula a trastornos neurológicos (depresión, Alzheimer) y enfermedades inflamatorias, evidenciando la comunicación bidireccional entre microbiota y SNC.

Disbiosis como factor etiológico multifacético: Alteraciones en la composición microbiana (disbiosis) se asocian a síndrome de intestino irritable, enfermedad inflamatoria intestinal, trastornos autoinmunes (artritis reumatoide) y psiquiátricos (TEA, TDAH). Factores como dieta, estrés y antibióticos exacerbaban la permeabilidad intestinal y la inflamación sistémica.

Terapias basadas en modulación microbiana

Los probióticos y prebióticos promueven la colonización de cepas beneficiosas (p. ej., *Lactobacillus rhamnosus GG*) y reducen patógenos oportunistas, mejorando la barrera intestinal y la respuesta antiinflamatoria.

Trasplante de microbiota fecal (TMF) es eficaz en infecciones recurrentes por *Clostridioides difficile* (éxito >80%) y en investigación para EII y trastornos neurológicos.

Innovación en ingeniería microbiana

Bacterias modificadas genéticamente (p. ej., *Escherichia coli* productora de AGCC) ofrecen potencial en enfermedades crónicas (Crohn, obesidad) y oncología, mediante liberación dirigida de moléculas terapéuticas o modulación del eje MGB.

Impacto del ayuno intermitente (AI)

El AI modula la relación Firmicutes/Bacteroidetes, favorece bacterias beneficiosas (*Akkermansia muciniphila*) y reduce inflamación sistémica. Sin embargo, su efecto regenerativo en células madre intestinales podría incrementar riesgos oncológicos a largo plazo, requiriendo estudios adicionales.

Enfoque hacia la medicina personalizada

La variabilidad interindividual del microbioma demanda estrategias basadas en metagenómica y metabolómica para optimizar terapias (simbióticos o TMF). La integración de perfiles microbianos en diagnósticos clínicos podría revolucionar el manejo de enfermedades autoinmunes, metabólicas y psiquiátricas.

Key relevants points

The Human Microbiome as an Essential Ecosystem

The human body harbors a complex microbial ecosystem (≈ 10 million microbial cells, predominantly bacteria), whose genetic material exceeds human DNA by 100-fold. This symbiotic consortium influences digestion, immunity, metabolism, and neurological functions, challenging the historical perception of microorganisms as mere pathogens.

Metabolic and Immunomodulatory Functions

The gut microbiota metabolizes complex polysaccharides, synthesizes short-chain fatty acids (SCFAs) such as butyrate, and produces 90% of the body's serotonin. These processes regulate intestinal homeostasis, immune responses, and blood-brain barrier integrity, impacting conditions such as obesity, diabetes, and mental disorders.

The Gut-Brain Axis (GBA)

This axis operates through neural (vagus nerve), immunological (cytokines), endocrine (HPA axis), and metabolic (SCFAs) pathways. Gut dysbiosis is linked to neurological disorders (depression, Alzheimer's) and inflammatory diseases, evidencing bidirectional communication between the microbiota and the central nervous system (CNS).

Dysbiosis as a Multifaceted Etiological Factor

Alterations in microbial composition (dysbiosis) are associated with irritable bowel syndrome, inflammatory bowel disease (IBD), autoimmune disorders (rheumatoid arthritis), and psychiatric conditions (ASD, ADHD). Factors such as diet, stress, and antibiotics exacerbate intestinal permeability and systemic inflammation.

Therapies Based on Microbial Modulation

Probiotics and prebiotics promote colonization of beneficial strains (e.g., *Lactobacillus rhamnosus GG*) and reduce opportunistic pathogens, enhancing intestinal barrier function and anti-inflammatory responses.

Fecal Microbiota Transplantation (FMT) is effective in recurrent *Clostridioides difficile* infections (success rate >80%) and under investigation for IBD and neurological disorders.

Innovations in Microbial Engineering

Genetically modified bacteria (e.g., *Escherichia coli* engineered to produce SCFAs) show therapeutic potential in chronic diseases (Crohn's, obesity) and oncology through targeted release of therapeutic molecules or modulation of the GBA.

Impact of Intermittent Fasting (IF)

IF modulates the Firmicutes/Bacteroidetes ratio, enriches beneficial bacteria (*Akkermansia muciniphila*), and reduces systemic inflammation. However, its regenerative effect on intestinal stem cells may elevate long-term oncological risks, necessitating further research.

Toward Personalized Medicine

Interindividual microbiome variability demands strategies integrating metagenomics and metabolomics to optimize therapies (symbiotic or FMT). Incorporating microbial profiles into clinical diagnostics could revolutionize the management of autoimmune, metabolic, and psychiatric disorders.

Referencias bibliográficas

- Allen, A. P., Dinan, T. G., Clarke, G. y Cryan, J. F. (2017). A psychology of the human brain–gut–microbiome axis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 77, 197-206.
- Bakshi, I., Dey, A. y Mukhopadhyay, S. (2024). Exploring the gut–brain axis: A comprehensive review. *Journal of Neuroscience Research*, 102(3), 345-362.
- Calle Ruiz, P. (2024). Efecto patológico de las alteraciones estructurales en la barrera intestinal. unican.es. <https://www.unican.es>
- Cryan, J. F. y O’Riordan, K. J. (2019). The microbiota-gut-brain axis. *Nature Reviews Neuroscience*, 20(2), 69-81. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0105-3>
- Dinan, T. G. y Cryan, J. F. (2017). The microbiome-gut-brain axis in health and disease. *Gastroenterology Clinics of North America*, 46(1), 77-89. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2016.09.007>
- Douillard, F. P. y de Vos, W. M. (2019). Engineering the gut microbiota. *Current Opinion in Biotechnology*, 56, 111-117.
- Espinoza Urgell, M. (2024). La vida social de las bacterias [HTML]. <https://ejemplo.com>
- Fundación Ciencias Médicas de Rosario. (2023). Efectos del ayuno intermitente sobre la salud. <https://www.fucimed.org/index.php/articulos/formacion/efectos-ayuno-intermitente>
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., ... y Reid, G. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Goloshchapov, O., Sidorenko, S., y Ilina, E. (2019). Transplantation of microbiota as an effective method for treating recurrent *Clostridioides difficile* infections. *Journal of Medical Microbiology*, 68(12), 1739-1745.

- Instituto de la Microbiota. (2020). Efectos del ayuno intermitente sobre la microbiota intestinal. <https://www.biocodexmicrobiotainstitute.com/es/efectos-del-ayuno-intermitente-sobre-la-microbiota-intestinal>
- Kargbo, R. B. (2023). Microbiome–gut–brain axis modulation: New approaches. *Current Opinion in Pharmacology*, 67, 102-114.
- Leiva, J. G. y González, J. F. (s. f.). Incidencia de factores ambientales en la salud mental. *ambimed2021.sld.cu*. <https://www.sld.cu>
- Margolis, K. G., Cryan, J. F. y Mayer, E. A. (2021). The microbiota–gut–brain axis: From motility to mood. *Gastroenterology*, 160(3), 548-562. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.10.066>
- Markowiak, P. y Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>
- Marleny, C. (s. f.). Introducción a la microbiología. *Saber.ucv.ve*. <https://saber.ucv.ve>
- Mosquera, E. L. C., Rodríguez, J. P. P. y Parra, P. M. P. (2022). Tendencias actuales sobre la depresión, factores de riesgo y abuso de sustancias. *Journal of American Health*, 5(1), 45-60. <https://www.jah-journal.com>
- Ocampo Ospina, A. (2021). Microbiota incidencias en salud y enfermedad. *ucm.edu.co*. <https://www.ucm.edu.co>
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (versión GPT-5) [Modelo de lenguaje generador de texto e imágenes]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>
- Ouwehand, A. C., Tiihonen, K., Vesikansa, M., Tölkö, S. y Rautonen, N. (2018). Health effects of probiotics: An overview. *Functional Foods in Health and Disease*, 8(5), 266-289.
- Peñafiel, M. B. P. y Pinos, K. M. N. (2023). Eje intestino–cerebro–microbiota y su impacto en la salud. *RECIAMUC*, 7(2), 1-15. <https://www.reciamuc.com>

- Rivière, A., Selak, M., Lantin, D., Leroy, F. y De Vuyst, L. (2016). Bifidobacteria and butyrate-producing colon bacteria: Importance and strategies for their stimulation in the human gut. *Frontiers in Microbiology*, 7, 979. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00979>
- Rodríguez Rodríguez, C. (2024). Eliminación de batch-effects en cohortes de microbioma 16S-rRNA mediante variational autoencoders para estudios de cáncer colorectal. Repositorio UDC. <http://udc.es>
- Santa María, C. R., López, L., Soria, M. A., Martínez, P. W., Otaegui, J. C., Santa María, V., ... y Ávila, L. (2021). Aplicaciones de data mining al estudio del microbioma humano. *Revista UNLaM*. <https://www.unlam.edu.ar>
- Sanders, M. E., Merenstein, D. J., Merrifield, C. A. y Hutkins, R. (2019). Probiotics for human use. *Nutrients*, 11(8), 1805. <https://doi.org/10.3390/nu11081805>
- Shreiner, A. B., Kao, J. Y. y Young, V. B. (2015). The gut microbiome in health and in disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 31(1), 69-75. <https://doi.org/10.1097/MOG.0000000000000139>
- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients*, 5(4), 1417-1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Suez, J., Zmora, N., Zilberman-Schapira, G., Mor, U., Dori-Bachash, M., Bashiardes, S., ... y Elinav, E. (2019). Post-antibiotic gut mucosal microbiome reconstitution is impaired by probiotics and improved by autologous FMT. *Cell*, 174(6), 1406-1423. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.08.047>
- Sunkara, T., Khanna, S. y Pardi, D. S. (2020). Fecal microbiota transplantation: Clinical applications and potential. *Gastroenterology & Hepatology*, 16(3), 145-155.
- Van Pijkeren, J. P., Britton, R. A. y Neoh, K. M. (2020). Genetically engineered bacteria for therapeutic applications. *Trends in Biotechnology*, 38(2), 217-230.


Zhang, X., Zhang, D., Jia, H., Feng, Q., Wang, D., Liang, D., ... y Wang, J. (2020). The oral and gut microbiomes are perturbed in rheumatoid arthritis and partly normalized after treatment. *Nature Medicine*, 26(4), 595-605. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0785-8>

Capítulo IV:

Inteligencia Artificial en el Diagnóstico y Tratamiento Médico


Víctor Chamba Pilay

Universidad de Guayaquil

 <https://orcid.org/0009-0002-0103-3907>

Rocío Alvarado Alvarado

Universidad de Guayaquil

 <https://orcid.org/0009-0009-9296-9890>

Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) se ha consolidado como una tecnología transformadora en el sector salud, permitiendo abordar desafíos clínicos complejos con mayor eficiencia y precisión. Su implementación ha generado ventajas significativas, entre las que destacan la optimización de los procesos diagnósticos y la mejora en la calidad asistencial. Al automatizar tareas repetitivas y demandantes de tiempo, la IA libera a los profesionales médicos para que puedan enfocarse en actividades que requieren mayor criterio clínico y humanización de la atención. Este enfoque no solo incrementa la productividad institucional, sino que también fomenta un entorno laboral más satisfactorio, al reducir la carga administrativa y potenciar la interacción médico-paciente (Bucheli Caballero, 2024).

Un área donde la IA ha demostrado un impacto particularmente relevante es el diagnóstico por imágenes. La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos radiológicos con algoritmos avanzados ha permitido incrementar la exactitud en la detección de patologías, minimizando errores y agilizando la toma de decisiones terapéuticas. Esta innovación no solo optimiza los flujos de trabajo, sino que también contribuye a mejorar los pronósticos clínicos, redefiniendo así los estándares de atención (Lanzagorta-Ortega et al., 2022).

Figura 16

Interacción entre IA en el diagnóstico y tratamiento médico



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

En patologías de alta complejidad, como el cáncer, la neumonía, el dengue o el COVID-19, un diagnóstico precoz y preciso es determinante para reducir la mortalidad. La IA facilita la identificación temprana de estas enfermedades, lo que permite intervenciones terapéuticas más oportunas y personalizadas. Además, el diseño de tratamientos adaptados a las necesidades individuales de cada paciente ha demostrado mejorar significativamente tanto su calidad como esperanza de vida, en comparación con enfoques estandarizados.

Otra aplicación prometedora es la cirugía robótica, que combina precisión técnica con menores tiempos de recuperación, representando un avance crucial en la medicina moderna. La integración estratégica de estas tecnologías no solo optimiza recursos institucionales, sino que también amplía el acceso a una atención de mayor calidad, beneficiando a poblaciones más extensas dentro de los sistemas de salud.

Historia de la Inteligencia Artificial en la Medicina

La historia de la inteligencia artificial en medicina comenzó a mediados del siglo XX, en paralelo con los avances en informática y la creación de los primeros lenguajes de programación simbólica. El término “inteligencia artificial” fue acuñado por John McCarthy en 1956, y poco después, investigadores comenzaron a explorar su aplicación en contextos médicos. En los años 70, se desarrollaron los primeros sistemas expertos como MYCIN y INTERNIST, que empleaban reglas lógicas para diagnosticar enfermedades infecciosas o problemas internos basados en síntomas y resultados clínicos (Chang, 2020). Estos sistemas, aunque innovadores, enfrentaron limitaciones tecnológicas, incluyendo la escasa capacidad computacional y la resistencia del entorno clínico a su adopción.

Durante las décadas de los 80 y 90, la IA en medicina se expandió hacia el uso de redes neuronales artificiales y lógica difusa. Estas nuevas herramientas ofrecían una mayor flexibilidad que los sistemas basados en reglas, permitiendo modelar la incertidumbre clínica de manera más precisa. Al mismo tiempo, surgieron iniciativas académicas que buscaban integrar la IA en la práctica médica diaria, aunque los resultados eran aún preliminares (Shortliffe, 1983). Esta etapa fue fundamental para establecer las bases metodológicas de lo que hoy se conoce como inteligencia médica asistida por máquinas.

Con el avance de la capacidad computacional en los años 2000 y el auge del aprendizaje automático (machine learning), la IA experimentó un nuevo impulso. La disponibilidad de grandes volúmenes de datos clínicos digitalizados, como historiales médicos electrónicos e imágenes diagnósticas, permitió entrenar algoritmos con niveles de precisión nunca antes vistos. Esta transformación marcó el inicio de la era moderna de la IA médica, donde sistemas capaces de detectar enfermedades como el cáncer de mama o la retinopatía diabética superaban incluso a especialistas humanos en pruebas controladas (Verma & Verma, 2022).

Más recientemente, el aprendizaje profundo (deep learning) ha demostrado ser una herramienta crucial en la medicina de precisión. Algoritmos como las redes neuronales

convolucionales han sido implementados exitosamente en el análisis de imágenes radiológicas, permitiendo diagnósticos más rápidos y exactos. Al mismo tiempo, los sistemas de IA han empezado a desempeñar un papel importante en áreas como la predicción de respuesta a tratamientos, la estratificación de riesgo y el diseño de ensayos clínicos (Aldergham et al., 2024).

En paralelo a su avance técnico, la inteligencia artificial ha abierto también debates éticos y sociales sobre su uso en salud. La falta de transparencia en el funcionamiento de algunos modelos, el riesgo de sesgos algorítmicos y la privacidad de los datos clínicos son preocupaciones que exigen atención. Expertos señalan la necesidad de marcos regulatorios sólidos y de una mayor alfabetización digital entre los profesionales de la salud para integrar la IA de manera segura y efectiva (Galdames, 2023).

Hoy en día, la IA médica es una realidad en múltiples entornos clínicos, desde robots quirúrgicos hasta asistentes virtuales que apoyan la toma de decisiones en tiempo real. La convergencia entre la inteligencia artificial y la medicina promete una revolución en la forma en que se entienden, previenen y tratan las enfermedades. Sin embargo, su implementación debe estar guiada por principios éticos, evaluaciones rigurosas y una visión centrada en el paciente (Devi, 2024).

Inteligencia Artificial en el Ámbito de la Salud: Fundamentos

La inteligencia artificial (IA) constituye una disciplina de la informática enfocada en el desarrollo de sistemas capaces de realizar funciones cognitivas tradicionalmente asociadas al ser humano, como el procesamiento de información compleja, el reconocimiento de patrones en grandes conjuntos de datos y la toma de decisiones basada en razonamiento lógico (Russell & Norvig, 2021). Este campo plantea interrogantes fundamentales sobre la naturaleza de la inteligencia en máquinas, su representación algorítmica y la posibilidad de que desarrollen capacidades análogas al pensamiento humano.

En el ámbito médico, la IA ha impulsado avances significativos, optimizando la personalización de tratamientos y facilitando la toma de decisiones clínicas basadas en datos. Entre las técnicas más relevantes se encuentran:

- Aprendizaje supervisado: Utiliza datos etiquetados para entrenar modelos predictivos aplicables a diagnóstico, clasificación de enfermedades y pronóstico clínico.
- Aprendizaje no supervisado: Identifica patrones ocultos en conjuntos de datos sin etiquetar, útil en la detección de agrupaciones epidemiológicas o fenotipos de enfermedades.
- Aprendizaje profundo (Deep Learning, DL): Emplea redes neuronales multicapa para el procesamiento jerárquico de información, destacando en el análisis de imágenes médicas y genómica (Esteva et al., 2021).

Clasificación de los Enfoques de IA

La IA puede categorizarse según su metodología de aprendizaje:

- IA supervisada: Requiere conjuntos de datos anotados para entrenar algoritmos (ej.: regresión logística, máquinas de soporte vectorial).
- IA no supervisada: Opera sin etiquetas previas, aplicando técnicas como clustering (ej.: algoritmos k-means).
- IA semisupervisada: Combina ambas aproximaciones, optimizando el uso de datos parcialmente etiquetados.
- Aprendizaje profundo: Subconjunto del aprendizaje automático que emplea redes neuronales profundas para extraer características jerárquicas, destacando en tareas como la segmentación de tumores en resonancias magnéticas (Litjens et al., 2022).

La IA ha demostrado especial utilidad en:

- Diagnóstico por imágenes: Mejora la detección temprana de cáncer de mama mediante mamografías asistidas por algoritmos (McKinney et al., 2020).

- Medicina personalizada: Predice respuestas a tratamientos oncológicos usando modelos genómicos (Topol, 2019).
- Cirugía robótica: Sistemas como Da Vinci integran IA para mayor precisión en procedimientos mínimamente invasivos (Hashimoto et al., 2023).

Aplicaciones en Diagnóstico Médico

En el contexto de la medicina moderna, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta transformadora, particularmente en el campo del diagnóstico asistido por tecnología. Los sistemas basados en IA pueden procesar imágenes médicas, datos clínicos y parámetros fisiológicos con un alto grado de exactitud, lo que permite la detección temprana de enfermedades y la minimización de errores diagnósticos (Topol, 2019). Esta capacidad no solo optimiza la precisión en la identificación de patologías, sino que también apoya la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia, mejorando así los estándares de atención médica y los resultados en los pacientes. Mediante técnicas de aprendizaje profundo (deep learning), los algoritmos de IA pueden analizar diversas modalidades de imágenes diagnósticas, incluyendo:

- Tomografía computarizada (TC)
- Resonancia magnética (RM)
- Radiografías convencionales
- Imágenes histopatológicas

Estos sistemas son capaces de identificar anomalías sutiles que podrían ser imperceptibles para el ojo humano, lo que resulta especialmente relevante en el diagnóstico de enfermedades como el cáncer, donde una detección temprana incrementa significativamente las tasas de supervivencia (Liu et al., 2021). Además, la IA se ha aplicado con éxito en áreas como la ecografía asistida por algoritmos y la estabilometría computarizada, adaptando sus métodos a las necesidades específicas de cada paciente.

Impacto Clínico y Beneficios

La integración de la IA en el diagnóstico médico ofrece ventajas clave:

- Reducción de errores: Los sistemas de IA disminuyen la variabilidad interobservador, especialmente en la interpretación de imágenes complejas (Esteve et al., 2021).
- Aceleración de procesos: Permite un análisis más rápido de grandes volúmenes de datos, optimizando tiempos de respuesta en urgencias (Hosny et al., 2023).
- Personalización: Facilita enfoques diagnósticos adaptados a las características individuales del paciente, mejorando la eficacia terapéutica.

Inteligencia Artificial en Diagnóstico por Imágenes

La integración de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico por imágenes representa una de las transformaciones más profundas en la medicina moderna. En particular, la IA ha comenzado a automatizar tareas que tradicionalmente dependían exclusivamente del juicio de especialistas, como la interpretación de radiografías, tomografías computarizadas (TC), resonancias magnéticas (RM) y ecografías. A través del aprendizaje profundo (deep learning) y el aprendizaje automático (machine learning), los sistemas actuales pueden identificar patrones complejos y anomalías con una precisión comparable, e incluso superior, a la de expertos humanos (Whitney & Giger, 2021).

Uno de los avances más destacados se encuentra en la interpretación de imágenes oncológicas. Algoritmos entrenados con millones de imágenes médicas han demostrado habilidades excepcionales para detectar lesiones pulmonares, mamarias o hepáticas, muchas veces en etapas tempranas, lo que mejora sustancialmente las tasas de diagnóstico precoz (Barman & Roy, 2024). Además, la IA ha optimizado el rendimiento de sistemas de detección asistida por computadora (CAD), ya no solo señalando áreas sospechosas, sino también proponiendo un diagnóstico diferencial basado en datos clínicos complementarios.

El área cardiovascular también se ha beneficiado significativamente. En estudios como la resonancia cardíaca o la ecocardiografía, la IA ha mejorado la precisión en la detección de disfunciones valvulares, fibrosis miocárdica y estenosis arteriales. Mediante la integración de múltiples fuentes de datos incluyendo imágenes y biomarcadores, los sistemas inteligentes pueden ayudar en la predicción del riesgo de eventos cardiovasculares, asistiendo a los clínicos en la toma de decisiones preventivas (Stanciu et al., 2020).

Figura 17

Análisis de estudio radiológico con IA implementada



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

Más allá del análisis de imágenes, la IA también está revolucionando la fase de adquisición y reconstrucción. Algoritmos avanzados permiten reconstruir imágenes médicas de alta resolución a partir de escaneos de baja dosis, reduciendo así la exposición a radiación sin comprometer la calidad diagnóstica. En resonancia magnética, por ejemplo, técnicas de reconstrucción acelerada mediante redes neuronales permiten obtener imágenes de calidad superior en menos tiempo, lo que incrementa la eficiencia clínica y mejora la experiencia del paciente (Wang et al., 2021).

Pese a sus beneficios, la implementación de IA en diagnóstico por imágenes presenta desafíos éticos, técnicos y regulatorios. Uno de los principales es la interpretación de los modelos como “cajas negras”, ya que muchos sistemas de aprendizaje profundo no ofrecen una justificación clara de sus decisiones. Esto genera desconfianza entre los profesionales de la salud y plantea dilemas de responsabilidad médica en caso de errores diagnósticos (Ayache, 2020).

La estandarización y validación clínica son otras barreras cruciales. Aunque numerosos algoritmos muestran altos niveles de sensibilidad y especificidad en entornos controlados, su rendimiento puede disminuir drásticamente al aplicarse en hospitales con diferentes protocolos, equipos o poblaciones. Por ello, organismos como la FDA y EMA han comenzado a regular el uso de software como dispositivos médicos (SaMD), exigiendo pruebas rigurosas antes de su aprobación (Morra et al., 2019).

Además de los aspectos clínicos, la IA también está transformando la práctica profesional. Radiólogos, técnicos y clínicos deben adaptar su formación para colaborar con sistemas inteligentes, asumiendo roles más centrados en la validación, integración e interpretación de datos generados por IA. Esto ha impulsado un replanteamiento de los planes de estudio en formación médica y tecnológica (Lewis et al., 2019).

Finalmente, el futuro de la IA en imágenes médicas apunta hacia la medicina personalizada. Al combinar imágenes, genómica, datos clínicos y estilo de vida, los algoritmos podrán ofrecer diagnósticos más precisos y tratamientos ajustados a cada paciente. Esta convergencia entre IA, big data y salud digital promete redefinir el enfoque médico hacia una atención más predictiva, preventiva, personalizada y participativa (modelo P4) (Nour, 2023).

Inteligencia Artificial en la Medicina Personalizada: Transformación del Paradigma Terapéutico

La medicina personalizada ha emergido como un enfoque revolucionario que busca adaptar tratamientos médicos a las características individuales de cada paciente, tales como

su perfil genético, estilo de vida y entorno ambiental. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha demostrado ser una herramienta esencial para procesar y analizar grandes volúmenes de datos biomédicos, permitiendo una atención médica más precisa, proactiva y eficiente (Yang, 2024).

La capacidad de la IA para integrar información genómica, molecular, clínica y conductual ha acelerado la transición desde una medicina basada en promedios hacia un modelo verdaderamente individualizado. Algoritmos de aprendizaje automático, especialmente aquellos basados en redes neuronales profundas, pueden identificar patrones complejos en los datos del paciente que no serían detectables por métodos convencionales (Amirineni, 2024).

Uno de los campos donde esta sinergia ha generado mayor impacto es la oncología. La IA permite clasificar subtipos tumorales, predecir respuestas a fármacos y diseñar terapias dirigidas basadas en biomarcadores moleculares. Estudios recientes han demostrado que sistemas basados en IA pueden predecir la eficacia de inmunoterapias con una precisión notable al integrar datos genéticos y clínicos del paciente (Gifari et al., 2021).

La farmacogenómica, una disciplina clave en la medicina personalizada, también ha sido fortalecida gracias a la IA. Mediante el análisis de variantes genéticas, los modelos inteligentes pueden anticipar la respuesta de un individuo a medicamentos específicos, optimizando así la dosis y minimizando los efectos adversos (Tupsakhare, 2023). Esta integración ha contribuido a una toma de decisiones clínicas más informada y basada en evidencia.

El uso de dispositivos portátiles y sensores biométricos combinados con algoritmos inteligentes ha abierto nuevas posibilidades en la medicina personalizada. Estos sistemas permiten un monitoreo continuo del estado de salud, detectando desviaciones fisiológicas en tiempo real y alertando a los profesionales antes de que se manifieste una enfermedad clínica (Zahra et al., 2024). Así, la IA no solo transforma el tratamiento, sino también la prevención.

Sin embargo, la implementación de IA en la medicina personalizada no está exenta de desafíos. La privacidad de los datos, el sesgo algorítmico y la falta de explicabilidad de

algunos modelos siguen siendo barreras importantes para su adopción masiva. Investigadores han abogado por el uso de inteligencia artificial explicable (XAI) y aprendizaje federado como estrategias para mitigar estos riesgos y proteger la confidencialidad del paciente (Nagarajiah & Sirisha, 2025).

Desde una perspectiva ética y regulatoria, la medicina personalizada impulsada por IA plantea interrogantes fundamentales. Es indispensable establecer marcos legales claros que regulen el uso, validación e interpretación de estas tecnologías en contextos clínicos. Además, se requiere un enfoque colaborativo entre desarrolladores, médicos, legisladores y pacientes para asegurar que las soluciones de IA se implementen de manera justa y equitativa (Milovanović, 2024).

En síntesis, la integración de la inteligencia artificial en la medicina personalizada representa una convergencia poderosa entre la biología, la informática y la clínica. Este enfoque tiene el potencial de redefinir la práctica médica, al permitir una atención más anticipativa, precisa y centrada en el individuo. No obstante, su consolidación dependerá del equilibrio entre la innovación tecnológica y la responsabilidad ética en su aplicación.

Cirugía Robótica e Inteligencia Artificial: Hacia una Nueva Era Quirúrgica

La convergencia de la inteligencia artificial (IA) con la cirugía robótica marca un hito en la historia de la medicina moderna. Esta combinación no solo ha incrementado la precisión quirúrgica, sino que ha mejorado la seguridad del paciente, reducido los tiempos operatorios y acelerado la recuperación postoperatoria. El avance más destacado es la evolución hacia la autonomía parcial en procedimientos quirúrgicos, donde los robots ya no son simples extensiones del cirujano, sino asistentes inteligentes que colaboran en la toma de decisiones intraoperatorias (Patel & Singh, 2024).

Figura 18

Cirugía robótica e inteligencia artificial



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

Uno de los desarrollos más innovadores consiste en el análisis intraoperatorio de imágenes y señales mediante algoritmos de aprendizaje automático. Estos sistemas pueden detectar márgenes quirúrgicos positivos, calcular fuerzas aplicadas y ofrecer retroalimentación en tiempo real al cirujano, mejorando la calidad del procedimiento y reduciendo errores humanos (Knudsen et al., 2024).

Asimismo, la IA ha transformado el campo de la planificación quirúrgica. Con el uso de imágenes 3D, algoritmos de visión por computadora y procesamiento de lenguaje natural, es posible elaborar planes operatorios personalizados que se ajustan a la anatomía y condiciones particulares del paciente. Este proceso incrementa la eficacia de la intervención, especialmente en cirugías ortopédicas y neuroquirúrgicas (Wang, 2024).

En el ámbito educativo, la IA también ha revolucionado la formación de cirujanos. Sistemas de simulación robótica integrados con inteligencia artificial permiten entrenamientos personalizados con retroalimentación objetiva basada en métricas

automatizadas de rendimiento, como la destreza bimanual y la eficiencia operativa. Esto no solo estandariza la formación quirúrgica, sino que optimiza el proceso de aprendizaje (Brian et al., 2024).

No obstante, la automatización creciente plantea interrogantes éticos y legales. La autonomía parcial de los robots quirúrgicos requiere nuevos marcos normativos sobre responsabilidad médica, consentimiento informado y toma de decisiones asistida por IA. Diversos autores han subrayado la necesidad urgente de establecer estándares internacionales que regulen el desarrollo, validación y supervisión de estos sistemas (Chappell & Teven, 2023) (O'Sullivan et al., 2019).

En áreas como la cirugía de trasplante o urología, la combinación de robótica con IA ha demostrado ser particularmente prometedora. Se han reportado tasas más altas de éxito quirúrgico gracias a la mejora en la manipulación de tejidos, mayor compatibilidad de órganos mediante algoritmos predictivos y vigilancia postoperatoria automatizada para detectar signos tempranos de rechazo (Lee & Yang, 2024) (Bokhari, 2023).

Sin embargo, el desarrollo de robots autónomos en cirugía aún se encuentra limitado por desafíos técnicos relacionados con la seguridad, fiabilidad y la toma de decisiones en contextos clínicos complejos. Investigaciones actuales apuntan al uso de aprendizaje reforzado y simulaciones avanzadas para permitir que estos sistemas evolucionen hacia una mayor independencia, sin comprometer la supervisión humana (Nanda et al., 2024).

En conclusión, la cirugía robótica potenciada por inteligencia artificial no solo representa un avance tecnológico, sino una transformación profunda en la práctica médica. La integración de capacidades predictivas, analíticas y autónomas promete una atención quirúrgica más segura, precisa y personalizada. No obstante, su implementación responsable requerirá una colaboración multidisciplinaria continua que garantice beneficios equitativos, éticos y sostenibles.

Puntos relevantes

Eficiencia y Precisión

La IA optimiza procesos diagnósticos, reduce errores y libera a profesionales de tareas repetitivas, permitiéndoles enfocarse en juicio clínico y atención humanizada.

Impacto en Imágenes Médica

Algoritmos de *deep learning* analizan TC, RM y radiografías, detectando anomalías sutiles (ej.: cáncer temprano), mejorando pronósticos.

Revolución del Big Data (2000s)

Datos digitalizados permitieron entrenar algoritmos con precisión superior a especialistas en detección de cáncer y retinopatía diabética.

Ética y Regulación

Debates sobre transparencia, sesgos algorítmicos y privacidad exigen marcos normativos robustos.

Desafíos críticos

Falta de estandarización en validación clínica; la FDA/EMA exigen rigurosidad en SaMD, sesgos en datos e integración en flujos de trabajo hospitalarios y capacitación profesional.

Relevant Points

Efficiency and Precision

AI optimizes diagnostic processes, reduces errors, and releases professionals from repetitive tasks, enabling them to focus on clinical judgment and humanized patient care.

Impact on Medical Imaging

Deep learning algorithms analyze CT, MRI, and X-ray images, detecting subtle anomalies (e.g., early-stage cancer), thereby enhancing patient outcomes.

Big Data Revolution (2000s)

The availability of digitalized data enabled the training of algorithms achieving accuracy levels surpassing specialists in areas such as cancer detection and diabetic retinopathy.

Ethics and Regulation

Debates concerning transparency, algorithmic biases, and data privacy demand the establishment of robust regulatory frameworks.

Critical Challenges

Key hurdles include the lack of standardization in clinical validation; rigorous standards for Software as a Medical Device (SaMD) mandated by the FDA/EMA; biases within training data; and seamless integration into hospital workflows alongside professional training.

Referencias bibliográficas:

- Aldergham, M., Alfour, A., & Al Madat, R. (2024). Artificial intelligence in medicine. *South Eastern European Journal of Public Health*. <https://doi.org/10.11576/seejph-7091> (Nota: URL corregida a DOI)
- Amirineni, S. (2024). The role of artificial intelligence in revolutionizing personalized medicine: A comprehensive review of techniques and applications. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *11*(1), 438–458.
- Ayache, N. (2020). Medical imaging in the age of artificial intelligence. *Healthcare and Artificial Intelligence*, 23–35.
- Barman, S., & Roy, S. (2024). Artificial intelligence in medical diagnostics. *Journal of Bangladesh College of Physicians and Surgeons*, *42*(1), 12–19.
- Bokhari, S. K. H. (2023). Artificial intelligence and robotics in transplant surgery: Advancements and future directions. *Cureus*, *15*(9), e45678. <https://doi.org/10.7759/cureus.45678>
- Borges Sa, M. (2024). Detección precoz de sepsis (SE) y shock séptico (SS) utilizando técnicas de big data, inteligencia artificial y machine learning [Tesis doctoral, Universitat de les Illes Balears]. Repositorio UIB. <https://dspace.uib.es/handle/11201/16600> (Nota: URL hipotética; completar con enlace real)
- Brian, R., Murillo, A. D., Gomes, C., & Alseidi, A. (2024). Artificial intelligence and robotic surgical education. *Global Surgical Education*, *3*, 7. <https://doi.org/10.1007/s44186-023-00190-w>
- Bucheli Caballero, N. E. (2024). Implementación de tecnologías de inteligencia artificial en el diagnóstico médico: Un enfoque integral para mejorar la eficiencia y precisión en el Hospital Clínica Kennedy [Tesis de maestría, Universidad de Las Américas]. Repositorio UDLA. <https://repositorio.udla.edu.ec/handle/33000/4221> (Nota: URL hipotética; completar con enlace real)

- Chang, H. (2020). History of artificial intelligence in medicine. *Intelligence-Based Medicine*, *1-2*, 100002.
- Chappell, A., & Teven, C. (2023). How should surgeons consider emerging innovations in artificial intelligence and robotics? *AMA Journal of Ethics*, *25*(8), E589–E597. <https://doi.org/10.1001/amajethics.2023.589>
- Devi, S. (2024). Artificial intelligence in medicine. *International Journal for Multidisciplinary Research*, *6*(1), 1–8.
- Esteva, A., Chou, K., Yeung, S., Naik, N., Madani, A., Mottaghi, A., ... & Socher, R. (2021). Deep learning-enabled medical computer vision. *npj Digital Medicine*, *4*(1), 5. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00376-2>
- FDA. (2023). Artificial intelligence and machine learning in software as a medical device. U.S. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/medical-devices/software-medical-device-samd/artificial-intelligence-and-machine-learning-software-medical-device>
- Galdames, I. S. (2023). Artificial intelligence in human medicine. *International Journal of Medical and Surgical Sciences*, *10*(1), 1–10.
- Gifari, M. W., Samodro, P., & Kurniawan, D. (2021). Artificial intelligence toward personalized medicine. *Pharmaceutical Sciences and Research*, *8*(2), 97–105.
- Hashimoto, D. A., Rosman, G., & Rus, D. (2023). Artificial intelligence in surgery: Current and future applications. *Annals of Surgery*, *277*(3), e505–e512. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000005521>
- Knudsen, J. E., Ghaffar, U., Ma, R., & Hung, A. J. (2024). Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery. *Journal of Robotic Surgery*, *18*, 19. <https://doi.org/10.1007/s11701-024-01849-2>

- Lanzagorta-Ortega, D., Carrillo-Pérez, D. L., & Carrillo-Esper, R. (2022). Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. *Gaceta Médica de México*, *158*, 17–21. <https://doi.org/10.24875/GMM.M22000671> (Nota: URL corregida a DOI)
- Lee, D. Y., & Yang, H. J. (2024). Artificial intelligence for autonomous robotic surgery in urology: A narrative review. *Urogenital Tract Infection*, *19*(1), 1–8.
- Lewis, S., Gandomkar, Z., & Brennan, P. (2019). Artificial intelligence in medical imaging practice: Looking to the future. *Journal of Medical Radiation Sciences*, *66*(4), 292–295. <https://doi.org/10.1002/jmrs.338>
- itjens, G., Kooi, T., Bejnordi, B. E., Setio, A. A. A., Ciompi, F., Ghafoorian, M., ... & Sánchez, C. I. (2017). A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*, *42*, 60–88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
- McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., ... & Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, *577*(7788), 89–94. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6>
- Milovanović, D. (2024). Responsible and ethical application of artificial intelligence systems in healthcare through a case study in diagnostics and personalized medicine. *Napredak*, *168*(1), 45–59.
- Morra, L., Delsanto, S., & Correale, L. (2019). Artificial intelligence in medical imaging. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24306-1> (Nota: URL hipotética; completar con enlace real)
- Nagarajaiah, H. S., & Sirisha, P. (2025). Artificial intelligence in healthcare: Opportunities and challenges for personalized medicine. *ITM Web of Conferences*, *52*, 03001.
- Nanda, I., Khatua, L., Porwal, S., & Singhal, D. (2024). Machine learning and computer vision driving precision in robotic surgery. *Communications on Applied Nonlinear Analysis*, *31*(1), 1–15.

- Nour, S. M. (2023). Artificial intelligence (AI) for improving performance at the cutting edge of medical imaging. NILES Conference Proceedings, 112–119.
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (versión GPT-5) [Modelo de lenguaje generador de texto e imágenes]. OpenAI. <https://chat.openai.com/>
- O’Sullivan, S., Nevejans, N., Allen, C., Blyth, A., Léonard, S., Pagallo, U., ... & Ashrafian, H. (2019). Legal, regulatory, and ethical frameworks for development of standards in artificial intelligence and autonomous robotic surgery. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, *15*(6), e2036. <https://doi.org/10.1002/rcs.2036>
- Patel, A., & Singh, R. (2024). Leveraging artificial intelligence in robotic surgery. *International Journal of Science and Research*, *13*(4), 1452–1457.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4.^a ed.). Pearson.
- Shortliffe, E. (1983). Artificial intelligence in medicine. *JAMA*, *250*(6), 829–830. <https://doi.org/10.1001/jama.1983.03340060055032>
- Stanciu, S., Tache, I., Gurzun, M., Sorici, A., Croitoru, A., Cuzino, D., ... & Sorin, S. (2020). Artificial intelligence in cardiovascular medical imaging. *Romanian Journal of Military Medicine*, *123*(4), 12–19.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, *25*(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- Tupsakhare, P. (2023). Integrating artificial intelligence with pharmacogenomics: Pioneering personalized medicine. *Progress in Medical Sciences*, *7*(2), 88–102.
- Verma, A., & Verma, H. (2022). A review of artificial intelligence and its application in the future medical field. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, *6*(8), 1–10.

- Wang, S., Cao, G., Wang, Y., Liao, S., Wang, Q., Shi, J., ... & Shen, D. (2021). Review and prospect: Artificial intelligence in advanced medical imaging. *Frontiers in Radiology*, *1*, 781868. <https://doi.org/10.3389/fradi.2021.781868>
- Wang, Y. (2024). Artificial intelligence-powered robotic joint surgery: Application, research progress, and prospects. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, *63*(1), 32–38.
- Whitney, H. M., & Giger, M. L. (2021). Artificial intelligence in medical imaging. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, *11*(12), 4760–4768. <https://doi.org/10.21037/qims-21-218>
- Yang, X. (2024). The applications of artificial intelligence in personalized medicine. *Applied and Computational Engineering*, *12*(1), 34–42.
- Zahra, M. A., Al-Taher, A., Alquhaidan, M., Hussain, T., Ismail, I., Raya, I., & Kandeel, M. (2024). The synergy of artificial intelligence and personalized medicine for the enhanced diagnosis, treatment, and prevention of disease. *Drug Metabolism and Personalized Therapy*, *39*(1), 7–15.

Capítulo V:

Metodologías de Enseñanza-Aprendizaje en Farmacovigilancia

Gabriela Espinosa Arreaga



Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0000-0001-9360-9015>

Jaime Espinosa Izquierdo



Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0000-0001-6842-8626>

María Touriz Bonifaz

Universidad de Guayaquil



<https://orcid.org/0000-0002-8986-8011>

Introducción

En un escenario clínico cada vez más complejo y exigente, la farmacovigilancia se ha consolidado como una herramienta esencial para garantizar la seguridad del paciente y la eficacia terapéutica de los medicamentos. Lejos de limitarse a una vigilancia pasiva, este campo constituye una ciencia dinámica que involucra la detección, evaluación y prevención de reacciones adversas a medicamentos (RAM), así como la comprensión profunda de cualquier problema relacionado con su uso. La formación integral de los profesionales de la salud no puede concebirse sin una base sólida en farmacovigilancia, pues esta disciplina aporta no solo competencias técnicas, sino también criterios éticos, clínicos y regulatorios necesarios para enfrentar los desafíos del uso racional de medicamentos.

A pesar de su creciente relevancia, diversas investigaciones han evidenciado importantes brechas en el conocimiento y la aplicación de la farmacovigilancia en la práctica

clínica diaria. Esto ha llevado a una reconfiguración pedagógica que aboga por la incorporación de metodologías activas, como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el Aprendizaje Basado en Casos (ABC) y el aprendizaje colaborativo. Estas estrategias promueven un enfoque participativo y reflexivo, donde el estudiante asume un rol protagónico en la toma de decisiones clínicas simuladas y reales, desarrollando habilidades que van desde la identificación temprana de efectos adversos hasta el uso responsable de los sistemas de reporte nacionales e institucionales.

Además, la simulación clínica, la gamificación y el uso de herramientas digitales emergen como recursos complementarios que fortalecen el aprendizaje significativo en escenarios hospitalarios y comunitarios. Esta visión integradora no solo refuerza la capacidad diagnóstica y analítica de los futuros profesionales, sino que también estimula la cultura de seguridad del paciente y la mejora continua de la atención en salud. En este contexto, la enseñanza de la farmacovigilancia demanda un rediseño educativo que combine teoría, práctica, ética e innovación tecnológica, con el objetivo de empoderar a los estudiantes como agentes activos en la prevención de riesgos asociados a los medicamentos.

Relevancia de la farmacovigilancia en la formación de profesionales de la salud

Según la Organización Mundial de la Salud, la farmacovigilancia es la *“ciencia y actividades relacionadas con la detección, evaluación, comprensión y prevención de efectos adversos o cualquier otro problema relacionado con los medicamentos”*. Esta definición resalta su carácter preventivo y su vínculo directo con la seguridad del paciente. No solo se limita a la farmacología clínica, sino que implica un enfoque interdisciplinario que abarca la medicina, la farmacia, la enfermería y la salud pública.

Importancia en la formación de profesionales de la salud

La formación en farmacovigilancia permite que los futuros profesionales adquieran competencias esenciales para identificar, reportar y analizar reacciones adversas a

medicamentos. Esto es especialmente importante en contextos como la atención primaria, donde el primer contacto con el paciente permite detectar señales tempranas de efectos adversos.

Estudios han resaltado que muchos profesionales en ejercicio aún presentan lagunas importantes en cuanto al conocimiento y la aplicación de herramientas de farmacovigilancia, como cuestionarios diagnósticos, protocolos de detección precoz o habilidades para el reporte de eventos adversos (Martínez et al., 2020). Por esta razón, la incorporación sistemática de contenidos de farmacovigilancia en los programas de formación inicial es una prioridad.

Asimismo, se ha evidenciado que los programas de colaboración interprofesional, que incluyen sesiones de formación conjunta entre médicos, farmacéuticos y enfermeros, mejoran significativamente la comunicación entre profesionales y el manejo clínico de los pacientes (Olivas et al., 2019). Si se tomara a consideración este abordaje integral entre los profesionales de salud, estos enfoques permitirán una integración efectiva de la farmacovigilancia en la práctica clínica cotidiana. Además, diversos autores han resaltado la necesidad de fortalecer los programas educativos para empoderar al personal de salud con herramientas éticas, clínicas y sociales, capaces de integrar la vigilancia farmacológica con el enfoque humanizado en el cuidado del paciente (Runzer-Colmenares et al., 2019).

La farmacovigilancia es una técnica cuyo propósito se centra en la identificación, valoración, comprensión y prevención de los efectos adversos de los medicamentos o cualquier otro problema relacionado con ellos. Su estudio está orientado a fomentar la formación en farmacovigilancia de pregrados y posgrados en salud. El abordaje pedagógico se fundamenta en el aprendizaje significativo, constructivista y basado en competencias. En estas metodologías activas deben incorporarse las estrategias de aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en casos y metodologías cooperativas.

Mostrándonos a favor de las competencias para promover el conocimiento y evaluar los efectos secundarios del medicamento, es importante avanzar en enfoques como el aprendizaje integrado, que combina la enseñanza tradicional con la experiencia en escenarios hospitalarios reales y simulados que recrean la actividad en salas de hospitalizados y servicios ambulatorios. En el caso de farmacovigilancia, la simulación favorece la inmersión en

situaciones que propician la reflexión y la toma de decisiones. Paralelamente, se incluyen estrategias concretas. En la primera propuesta se emplean casos clínicos reales y simulados para analizar críticamente las reacciones adversas a medicamentos y asegurar la calidad y seguridad de los pacientes. La segunda estrategia utiliza la gamificación y herramientas digitales para propiciar el reporte de RAM mediante encuestas que también facilitan el trabajo colaborativo. La evaluación del aprendizaje requiere el empleo de técnicas formativas y sumativas o rúbricas que permitan determinar el nivel alcanzado con aspectos como la identificación de RAM, el análisis crítico y la presentación de propuestas correctivas.

Desde estos estándares, los objetivos del aprendizaje en farmacovigilancia deberían ser:

- Explicar el propósito y definir los conceptos clave.
- Resaltar la importancia de los sistemas de farmacovigilancia para la población y la formación continuada de los profesionales de la salud.
- Identificar los principales elementos que intervienen en su funcionamiento.
- Describir brevemente la clasificación y los mecanismos por los que pueden producirse las reacciones adversas a medicamentos.
- Enumerar las etapas del ciclo de vida del medicamento bajo vigilancia.
- Destacar los valores fundamentales que deben regir el reporte de las RAM.
- Explicar el esquema general para el abordaje de una vigilancia efectiva.
- Reconocer, analizar y analizar críticamente las reacciones adversas a medicamentos.

Metodologías activas en el área de la salud: Aplicaciones en la enseñanza de la farmacovigilancia

La educación en ciencias de la salud ha experimentado una transformación significativa en los últimos años, migrando de enfoques tradicionales y expositivos hacia métodos activos que sitúan al estudiante como protagonista del proceso de aprendizaje. Entre estas estrategias destacan el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el Aprendizaje Basado en Casos (ABC) y el aprendizaje colaborativo. Estas metodologías promueven el desarrollo de habilidades clínicas, éticas, críticas y comunicativas necesarias para enfrentar contextos

complejos como los que se presentan en la farmacovigilancia. Dada la importancia de esta disciplina para la seguridad del paciente, integrar metodologías activas en su enseñanza representa una estrategia pedagógica altamente eficaz (Martínez et al., 2020).

El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) se ha consolidado como una de las metodologías más efectivas para desarrollar pensamiento crítico y habilidades de resolución en el área de la salud. En el contexto de la farmacovigilancia, el ABP permite que los estudiantes enfrenten escenarios clínicos donde deben identificar posibles reacciones adversas, analizar interacciones medicamentosas y proponer medidas de intervención. Esta metodología fomenta la integración de conocimientos farmacológicos, clínicos y éticos, promoviendo una comprensión profunda y aplicada de los conceptos. Además, estimula la autonomía, la investigación científica y el razonamiento clínico, todos ellos componentes esenciales en la toma de decisiones seguras relacionadas con el uso de medicamentos (Runzer-Colmenares et al., 2019).

Figura 20

Enseñanza de Farmacovigilancia



Nota: Imagen generada con ChatGPT (OpenAI, 2025).

El Aprendizaje Basado en Casos (ABC), por su parte, utiliza situaciones clínicas reales o simuladas como base para la discusión y el análisis grupal. Este enfoque es particularmente útil en la enseñanza de la farmacovigilancia, ya que permite contextualizar los conocimientos teóricos en escenarios concretos donde los estudiantes deben aplicar criterios clínicos y regulatorios para detectar y reportar eventos adversos. A través del análisis de casos, los futuros profesionales desarrollan habilidades para establecer relaciones causales, realizar análisis de riesgos-beneficios y utilizar adecuadamente los sistemas de reporte de farmacovigilancia disponibles a nivel institucional y nacional (Olivas et al., 2019).

Una ventaja adicional del ABC es su capacidad para promover la reflexión crítica y la argumentación basada en evidencia. Los estudiantes deben consultar literatura científica, evaluar guías de práctica clínica y utilizar recursos tecnológicos, lo que favorece la actualización continua y el desarrollo de una actitud investigadora. Este componente es crucial en farmacovigilancia, donde el conocimiento evoluciona rápidamente y los profesionales deben estar capacitados para adaptarse a nuevos riesgos terapéuticos y alertas farmacológicas. Además, el aprendizaje basado en casos facilita la identificación de errores comunes en la prescripción y administración de fármacos, contribuyendo a la formación de una cultura de seguridad del paciente (Martínez et al., 2020).

El aprendizaje colaborativo constituye otra estrategia clave en la enseñanza de farmacovigilancia, ya que promueve el trabajo en equipo, la comunicación efectiva y la toma de decisiones compartidas. En esta metodología, los estudiantes trabajan en grupos para resolver tareas complejas, desarrollar proyectos o analizar casos clínicos. En el ámbito de la farmacovigilancia, esta estrategia reproduce dinámicas reales del entorno sanitario, donde la coordinación entre médicos, farmacéuticos, enfermeros y otros profesionales es esencial para el monitoreo de la seguridad farmacológica. Además, se ha demostrado que el trabajo colaborativo mejora la retención del conocimiento y la motivación de los estudiantes (Olivas et al., 2019).

Un elemento distintivo del aprendizaje colaborativo es su capacidad para desarrollar habilidades interprofesionales desde las etapas tempranas de la formación. Estas habilidades son especialmente relevantes en farmacovigilancia, ya que permiten establecer canales de comunicación efectivos entre distintas áreas clínicas y administrativas. La colaboración

estructurada entre pares también facilita la retroalimentación continua, la reflexión conjunta y la co-construcción del conocimiento, componentes fundamentales para una práctica segura y ética en la vigilancia de medicamentos (Runzer-Colmenares et al., 2019).

La implementación de estas metodologías activas en la enseñanza de la farmacovigilancia debe acompañarse de una infraestructura adecuada y docentes capacitados en pedagogía activa. Es necesario diseñar currículos que incorporen espacios para el análisis de casos reales, simulaciones clínicas, proyectos colaborativos e investigación aplicada. Además, la evaluación debe centrarse no solo en la adquisición de conocimientos, sino también en el desarrollo de competencias prácticas, éticas y comunicacionales, fundamentales en la detección y prevención de eventos adversos por medicamentos (Martínez et al., 2020).

Asimismo, se ha evidenciado que estas metodologías incrementan el sentido de responsabilidad y compromiso de los estudiantes con la seguridad del paciente. Al verse inmersos en situaciones reales o simuladas, los estudiantes comprenden las consecuencias clínicas, legales y sociales de una mala praxis en la farmacoterapia. Esta experiencia los motiva a adoptar una actitud crítica frente a las decisiones terapéuticas, lo cual es clave para prevenir daños innecesarios y fortalecer la farmacovigilancia desde la base del sistema sanitario (Runzer-Colmenares et al., 2019).

Es por esto que las metodologías descritas anteriormente contribuyen a superar la visión fragmentada del conocimiento al promover un enfoque sistémico e integrado. En farmacovigilancia, esto se traduce en la capacidad de los futuros profesionales para considerar factores clínicos, farmacológicos, regulatorios y sociales al evaluar una reacción adversa o un error de medicación. En lugar de memorizar contenidos de forma aislada, los estudiantes comprenden el impacto real de sus decisiones, lo que fomenta una práctica clínica más segura, humana y efectiva (Olivas et al., 2019).

Estrategias metodológicas específicas

Para favorecer de manera efectiva el inicio en el desarrollo de las competencias necesarias en relación con la identificación y el adecuado reporte de reacciones adversas a medicamentos (RAM), es fundamental basarse en el conocimiento previo de la especialidad y la formación que se ha recibido anteriormente. En el abordaje de la farmacovigilancia, se fomenta de manera activa la utilización de casos clínicos tanto reales como simulados, creando así escenarios e historias clínicas que propician un análisis crítico exhaustivo y, a su vez, estimulan de manera significativa la base investigativa en este campo tan importante.

Asimismo, la gamificación y la implementación de diversas herramientas digitales fomentan en gran medida el aprendizaje activo, utilizando escenarios virtuales que están intrínsecamente relacionados con la práctica profesional. Estos enfoques innovadores además se encargan de incentivar la participación directa y activa tanto de los profesionales como de los estudiantes de ciencias de la salud. Esto no solo enriquece su experiencia educativa, sino que también potencia de manera significativa el registro y reporte oportuno de cualquier sospecha de reacciones adversas a medicamentos (RAM) que puedan surgir en diferentes ambientes hospitalarios y en las comunidades, respectivamente. La experiencia práctica que se desarrolla en entornos reales no solo consolida el aprendizaje adquirido, sino que también fortalece la retroalimentación y evaluación, garantizando así un proceso de enseñanza-aprendizaje continuo y eficaz.

Evaluación del aprendizaje

Para realizar la evaluación del aprendizaje experiencial desarrollado en hospitales o servicios de salud, en los sectores público o privado, así como en los entornos comunitarios, conecta estrechamente con la evaluación del aprendizaje. Esta debe ser concebida como un proceso ligado tanto a la enseñanza como al aprendizaje, orientado a modificar el comportamiento de estudiantes y profesores, con un propósito formativo. En este sentido, las técnicas de evaluación se seleccionan por su contribución a la concreción de los objetivos y la puesta en práctica de principios metodológicos.

Una propuesta válida consiste en implementar una evaluación sumativa por competencias centrada en la trazabilidad del proceso de aprendizaje. Se requiere, además, un instrumento de evaluación basado en una rúbrica de categorías y niveles ecológicos. La valoración debe enfocarse en la detección oportuna de la reacción adversa a los medicamentos (RAM), el análisis crítico de la relación beneficio-riesgo, y la presentación de previsiones, provechos y medidas correctivas en aquellos casos susceptibles de no haberse notificado.

Evaluación formativa y sumativa: rúbricas para análisis de casos, presentaciones y reportes.

En la evaluación del aprendizaje acerca del análisis, la gestión y el reporte en farmacovigilancia, es de suma importancia que se realice una comprobación tanto formativa como sumativa de los conocimientos adquiridos por los estudiantes. En este contexto, se pueden emplear rúbricas de evaluación que incluyan criterios bien definidos asociados a la identificación correcta de las reacciones adversas, la diversidad y profundidad aportada en los análisis críticos de dichas reacciones, así como a los niveles de exposición que se presenten en la elaboración del caso o en el proceso de reporte. La educación en farmacovigilancia exige un enfoque que sea congruente con el aprendizaje experiencial, dado que, para aprender a realizar informes sobre las reacciones adversas en el desarrollo de la práctica profesional, resulta esencial poder abordar con la debida discreción el análisis del riesgo-beneficio que conlleva la utilización de un medicamento. Las prácticas de farmacovigilancia que se llevan a cabo permiten establecer una base científica sólida que podrá ser de gran utilidad para enfrentar y superar la estricta evaluación sumativa que se presente en el futuro. La adecuada comprensión de estos aspectos facilitará que los profesionales manejen con destreza la información crítica en esta área.

Carolina Schapira sostendrá que la actividad del alumnado en entornos hospitalarios o comunitarios genera un mejor desempeño a nivel profesional en comparación con otros contextos. En tal sentido, estableció que la evaluación de las diversas actividades que se desarrollan en el transcurso de la práctica debe contemplar de manera integral las habilidades

que requieren la verificación del desembolso formativo y el aprendizaje significativo. Además, recomendó que esta evaluación se aplique de manera continua e individual, lo que permitirá que cada estudiante reciba una retroalimentación valiosa y enriquecedora por parte del tutor, así como de las tutorías grupales que se puedan organizar.

El sistema de evaluación que se aplique a métodos de aprendizaje clásico puede ser extremadamente útil para identificar estas actividades y comprobar si han sido debidamente cubiertas y llevadas a cabo de acuerdo con los requerimientos establecidos. Asimismo, este enfoque evaluativo puede colaborar de manera efectiva en la detección de deficiencias de conocimiento que hayan provocado la realización incompleta o insatisfactoria de la actividad, permitiendo así a los educadores y tutores implementar medidas correctivas y de mejora que favorezcan el proceso de aprendizaje y el desarrollo profesional del alumnado.

Recomendaciones para la Práctica Educativa

A la luz de la creciente necesidad de fortalecer la cultura de seguridad del paciente y promover un uso racional de los medicamentos, se recomienda incorporar de manera sistemática y transversal la farmacovigilancia en los programas de formación de pregrado y posgrado en ciencias de la salud. Esta incorporación debe ir más allá del abordaje teórico, incluyendo metodologías activas que fomenten la participación crítica del estudiante en contextos clínicos reales y simulados. En este sentido, se sugiere priorizar estrategias como el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), el Aprendizaje Basado en Casos (ABC) y el aprendizaje colaborativo, dado que estas metodologías permiten el desarrollo de competencias clínicas, éticas, analíticas y comunicacionales clave para el ejercicio profesional seguro.

Es esencial diseñar escenarios de simulación clínica que recreen con fidelidad situaciones hospitalarias y comunitarias relacionadas con la identificación, análisis y reporte de reacciones adversas a medicamentos (RAM). Estos espacios deben estar acompañados de guías de análisis, rúbricas de evaluación formativa y sumativa, así como mecanismos de retroalimentación constante. Se recomienda también integrar herramientas digitales y

recursos de gamificación que faciliten el trabajo colaborativo, motiven la participación estudiantil y optimicen el proceso de reporte de eventos adversos de forma ágil y estandarizada.

Por otro lado, se enfatiza la importancia de consolidar programas de formación interprofesional, donde estudiantes de medicina, enfermería, farmacia y salud pública compartan espacios de aprendizaje conjuntos. Esta estrategia no solo potencia la visión integral del cuidado del paciente, sino que mejora la coordinación clínica, la comunicación efectiva entre profesionales y la toma de decisiones fundamentadas en evidencia.

Desde la perspectiva docente, se insta a capacitar al profesorado en pedagogía activa y evaluación por competencias, así como en el diseño de experiencias de aprendizaje centradas en el estudiante. La trazabilidad del aprendizaje debe evaluarse mediante instrumentos sólidos, como rúbricas específicas para la identificación de RAM, análisis de riesgos-beneficios, redacción de reportes y propuestas de mejora. Además, debe garantizarse una evaluación continua, individualizada y con enfoque reflexivo, que permita detectar oportunamente deficiencias y orientar acciones correctivas.

Finalmente, se recomienda considerar la farmacovigilancia no solo como un componente técnico, sino como una práctica ética y humanizada, que exige del profesional de la salud una actitud crítica, empática y comprometida con la prevención del daño. Promover una visión sistémica e integrada de esta disciplina contribuirá a formar profesionales capaces de responder con responsabilidad ante los desafíos terapéuticos contemporáneos, fortaleciendo así la calidad y seguridad del sistema sanitario.

Conclusión

El estudio comparativo de la enseñanza de la farmacovigilancia permite comprender cómo el conocimiento de la medicina basada en evidencia, relacionado con las reacciones adversas a medicamentos (RAM), contribuye a la identificación de problemas que comprometen la seguridad del paciente.

En esta perspectiva, la farmacovigilancia resulta esencial para evaluar las RAM y constituyen la base para el desarrollo de competencias clínicas que posibilitan su análisis y prevención. Las recomendaciones derivadas del análisis tienen por finalidad optimizar metodologías de enseñanza-aprendizaje y reforzar la formación continua sobre el tema.

Después de definir su propósito y relevancia, de establecer objetivos de enseñanza, de explicar teorías aplicadas y de describir estrategias metodológicas, las guías para la práctica educativa subrayan que la simulación clínica en entornos realistas de docencia, administración y servicios conecta la teoría con la acción, favoreciendo la inmersión y autocrítica.

En los escenarios simulados, el ABP, el ABC y la gamificación permiten analizar críticamente las RAM en recursos reales, así como identificar y reportar la experiencia propia con el empleo de herramientas digitales.

La inmersión de los estudiantes en entornos hospitalarios y comunitarios brinda la oportunidad experimentada para detectar estas reacciones, destacando su significado en la formación profesional.

Finalmente, la evaluación sumativa y formativa incluye la aplicación de una rúbrica diseñada para identificar, analizar y proponer formas de corregir problemas relacionados con la RAM.

Puntos relevantes

Importancia de la Farmacovigilancia en la Formación Sanitaria

Es una disciplina clave para garantizar la seguridad del paciente y la eficacia terapéutica, implica competencias clínicas, éticas, regulatorias y sociales.

Brechas Formativas Detectadas

Persisten lagunas en el conocimiento y aplicación práctica de la farmacovigilancia entre profesionales en ejercicio.

Rediseño Pedagógico Necesario

Enfatizar el uso de metodologías activas para fomentar la toma de decisiones clínicas críticas y seguras.

Innovaciones Didácticas Complementarias

Promueve la inmersión en entornos hospitalarios y comunitarios, estas incentivan la participación y el reporte de RAM de forma práctica y motivadora.

Evaluación Integral del Aprendizaje

Se recomienda el uso de rúbricas formativas y sumativas para valorar: identificación de RAM, análisis crítico de riesgo-beneficio y propuestas correctivas bien fundamentadas.

Recomendaciones para la Práctica Educativa

Capacitar al profesorado en pedagogía activa y diseño por competencias, además de usar entornos simulados con enfoque reflexivo y autocrítico; asimismo adoptar una visión ética, sistémica y humanizada de la farmacovigilancia.

Key Points

Importance of Pharmacovigilance in Health Education:

It is a key discipline for ensuring patient safety and therapeutic efficacy. It involves clinical, ethical, regulatory, and social competencies.

Identified Educational Gaps:

There are persistent deficiencies in the knowledge and practical application of pharmacovigilance among practicing healthcare professionals.

Necessary Pedagogical Redesign:

It is essential to emphasize the use of active learning methodologies to foster critical and safe clinical decision-making.

Complementary Didactic Innovations:

These promote immersion in hospital and community settings, encouraging participation and the practical, motivating reporting of adverse drug reactions (ADRs).

Comprehensive Learning Assessment:

The use of formative and summative rubrics is recommended to evaluate: the identification of ADRs, critical benefit-risk analysis, and well-founded corrective proposals.

Recommendations for Educational Practice:

Faculty should be trained in active pedagogy and competency-based curriculum design. In addition, simulated environments should be used with a reflective and self-critical approach. It is also essential to adopt an ethical, systemic, and humanized perspective of pharmacovigilance.

Referencias bibliográficas

Avellaneda, J. L., González López, M. D. C., Ramírez Beltrán, K. D., Rodríguez, C. Y., & Sanabria Montalvo, J. E. (2022). *Integración de inteligencia artificial en estrategias*

de farmacovigilancia para la monitorización de medicamentos biológicos y biosimilares: Una revisión bibliográfica. unad.edu.co

Bermudez Garzón, L. K., Sanabria Ramos, C. N., Largo Valencia, Y. L., Guerrero Garcia, Y. P., & Gomez Gonzalez, E. S. (2024). *Impacto de las aplicaciones digitales en la mejora de la notificación de reacciones adversas a medicamentos en Colombia.* unad.edu.co

Carrasco, M. V. M. (2022). *Perfil y rol del docente en aulas hospitalarias inclusivas.* Educación. unife.edu.pe

de Lucas, B. C. (2022). *Curar y cantar: Un programa de aprendizaje-servicio en un centro hospitalario.* Revista de Educación Inclusiva. revistaeducacioninclusiva.es

Espinosa Arreaga, G., Chamba Pilay, V., Espinosa Figueroa, J., & Sánchez Paredes, C. (2024). Evaluación de estrategias innovadoras para fomentar la colaboración interdisciplinaria en universidades regionales. *Polo del Conocimiento*, 9(8), 3432-3450. doi:<https://doi.org/10.23857/pc.v9i8.7890>

Espinosa Arreaga y cols. (2024). *Transformación digital en la educación superior:* Editorial LetraPro. <https://letrapro.com/index.php/editorial/catalog/view/9/10/46>

Espinoza Crespo, C. D., Mercado Jaramillo, M. C., & Quezada Illescas, J. K. (2024). *Propuesta de un ambiente de aprendizaje en el contexto de educación hospitalaria del Hospital Vicente Corral Moscoso en el año 2024.* unae.edu.ec

Gómez Ramírez, C., Mora Auza, A., Uribe Uribe, M. S., Leal Bojacá, L. A., & Mejía Montoya, V. (2025). *Farmacovigilancia en la prevención y resolución de problemas relacionados con medicamentos (PRM) y la seguridad del paciente: Una revisión temática de 2015 al 2024.* unad.edu.co

Luna Ramos, C. L., Guerrero Causil, M. V., Gaviria Pérez, A. M., Martínez Buelvas, Y. P., & Petro Llorente, E. (2024). *Revisión bibliográfica del impacto de la inteligencia artificial en la farmacovigilancia hospitalaria: Optimización en la detección y prevención de reacciones adversas.* unad.edu.co

- Maji, M. M., Garnica, S. P., & Orellana, J. M. (2025). *Rol docente en la pedagogía hospitalaria: Retos y perspectivas en la educación*. Mamakuna. unae.edu.ec
- Martínez, M., García Pedregal, E., Pozas, J. J., Caro, J. L., Rodríguez Sampedro, A., & Marín, A. V. (2020). *La educación ante el consumo de riesgo de bebidas alcohólicas: Propuesta de actuación multidisciplinar desde el profesional de la salud*. *Nutrición Hospitalaria*, 37, 609–615.
- Navarro, J. C. O., & Medina, D. E. M. (2025). *Estrategias de educación experiencial para generar bienestar social: Un estudio de caso*. Praxis Educativa. unirioja.es
- Olivas, N. J., Majada, A. C., Heredia Ochoa, M. P., Valverde, A. M., Rodríguez, M., & García, C. M. (2019). *7 años de DarocaFarmacias: Programa de coordinación entre el Centro de Salud Daroca y los Farmacéuticos Comunitarios*. *Farmacéuticos Comunitarios*, 21, 375–395.
- OpenAI. (2025). *ChatGPT (versión GPT-5) [Modelo de lenguaje generador de texto e imágenes]*. OpenAI. <https://chat.openai.com/>
- Pacheco, C. W. F., & Ramírez, S. D. J. P. (2025). *Diseño de un sistema de farmacovigilancia utilizando metodologías ágiles para mejorar la gestión de información farmacológica en Fundación NPHI*. unitec.edu
- Pinos-Benavides, C. X. (2024). *La práctica pedagógica en un ambiente hospitalario*. Cátedra. uce.edu.ec
- Ramírez Vélez, D. E., Salgado Marín, J. C., Castaño Rivera, M. I., Cardona Restrepo, M. Á., & López Londoño, S. (2024). *Tecnología y pacientes, un nuevo horizonte para la farmacovigilancia en Colombia: Una revisión de la literatura 2014-2024*. unad.edu.co
- Runzer-Colmenares, F. M., Parodi, J. F., Agüero, C., Echegaray, K., & Samamé, J. C. (2019). *Las personas con enfermedad terminal y la necesidad de cuidados paliativos: Una deuda pendiente de los servicios de salud*. *Revista Médica del Perú*, 36, 134–144.

- Suárez, Y. S., Chicaiza, P. M., Zambrano, V. P., & Rivera, S. S. (2024). *Más allá del aula: Interactividad en la pedagogía hospitalaria. Journal of Science and Research, 9*(CININGEC-). utb.edu.ec
- Torres-Zapata, Á. E., Calderón-Morales, K. Y., Hernández-Montejo, J. A., Villanueva-Echavarría, J. R., & Brito Cruz, T. D. J. (2023). *Estilos de aprendizaje influyentes para el desarrollo de las prácticas clínicas en estudiantes universitarios del área de la salud. Conrado, 19*(91), 54–61. sld.cu
- Trejos Parra, J. J., Bedoya Gaviria, S. M., & Cardona Triana, C. P. (2021). *Programa modelo de educación experiencial orientado al desarrollo de personalidad resistente en estudiantes de atención prehospitalaria. utp.edu.co*
- Vargas, S. C. A., Armendáriz, C. D. L. V., Aragón, J. E. C., Vaca, F. E. S., Biracucha, G. S. C., & Garzón, C. E. R. (2024). *Estrategias de enseñanza contextualizadas para aulas hospitalarias: Fomentando la inclusión y participación educativa. MENTOR: Revista de Investigación Educativa y Deportiva, 3*(8), 615–628. revistamentor.ec