Bioethical aspects in the application of precision medicine in the course of diseases

Xiomara Thalyz Quiroz-Arrascue	Investigador independiente. Chiclayo, Perú
Ariana Nayely Carbonel-Morante	Investigador independiente. Chiclayo, Perú
James Jherson Santisteban-Suclupe	Investigador independiente. Chiclayo, Perú
Marialejandra Uceda-Chang	Investigador independiente. Chiclayo, Perú

Precision medicine today is a significant scientific advance in healthcare, but it also poses important bioethical dilemmas. This literature review analyzes the main ethical challenges associated with its implementation, with special emphasis on privacy, autonomy, justice, and equity. Thirty-four relevant studies were reviewed from academic databases such as PubMed, Scopus, Embase, and ScienceDirect, selecting those that addressed ethical implications related to informed consent, the confidentiality of genetic data, equity in access to personalized therapies, and specific challenges in vulnerable populations. The results show a consensus on the need to establish clear regulatory frameworks, promote education in medical ethics, and formulate inclusive public policies. It is concluded that the benefits of precision medicine can only be fully realized by integrating ethical principles that guarantee patients' rights and promote equitable and accessible healthcare for everyone.

Palabras clave: Medicina de precisión; Bioética; Autonomía; Privacidad; Equidad.

Abstract

Precision medicine today is a significant scientific advance in healthcare, but it also poses important bioethical dilemmas. This literature review analyzes the main ethical challenges associated with its implementation, with special emphasis on privacy, autonomy, justice, and equity. Thirty-four relevant studies were reviewed from academic databases such as PubMed, Scopus, Embase, and ScienceDirect, selecting those that addressed ethical implications related to informed consent, the confidentiality of genetic data, equity in access to personalized therapies, and specific challenges in vulnerable populations. The results show a consensus on the need to establish clear regulatory frameworks, promote education in medical ethics, and formulate inclusive public policies. It is concluded that the benefits of precision medicine can only be fully realized by integrating ethical principles that guarantee patients' rights and promote equitable and accessible healthcare for everyone.

Keywords: Precision medicine; Bioethics; Autonomy; Privacy; Equity.

Introducción

El hombre, a lo largo de su evolución, se ha enfrentado a múltiples enfermedades, muchas de las cuales aún carecen de una explicación clara. Esta falta de comprensión y el deseo constante de mejorar la calidad de vida han impulsado un profundo conocimiento del cuerpo humano y el desarrollo de nuevas formas de estudio y tecnologías médicas. Uno de los avances más significativos ha sido la capacidad de estudiar y manipular el material genético, lo que ha abierto nuevas perspectivas en la comprensión, tratamiento y prevención de enfermedades genéticas (Lee

& Lee, 2024).

En este contexto, la medicina de precisión ha emergido como una herramienta revolucionaria gracias al rápido avance de la biotecnología. Su objetivo es ofrecer tratamientos personalizados basados en las características individuales del paciente, incluyendo su información genética, entorno y estilo de vida. Esta capacidad de intervenir directamente en el material genético representa una innovación sin precedentes que permite no solo corregir mutaciones responsables de enfermedades, sino también aumentar la resistencia a estas o incluso modificar características humanas (Azeez et al., 2024). No obstante, las intervenciones genéticas deben contemplarse cuidadosamente para no alterar injustificadamente el curso natural de la vida, desde la concepción hasta la muerte, manteniendo siempre la dignidad del paciente.

De igual modo, en el ámbito nacional, en el año 2021 se creó el Centro Líder Latinoamericano de Investigación de Medicina de Precisión y se fortaleció el papel del Instituto Nacional de Salud (INS), instituciones que desempeñan un rol integral en el seguimiento y promoción de la medicina de precisión en el país. Estas entidades se encargan de desarrollar y difundir investigaciones relevantes en salud pública y medicina experimental, cuyo objetivo es el estudio de la variabilidad genética de los polimorfismos clínicamente relevantes de las enfermedades en la población peruana, así como el estudio de las respuestas de los pacientes a un tratamiento específico (Burstein & Cabezas, 2016). Esto demuestra que en nuestro país la medicina personalizada va cobrando mayor alcance; sin embargo, no se están cuestionando los importantes dilemas éticos que trae consigo esta implementación, donde los más destacados son la desigualdad en el acceso a tratamientos avanzados debido a su alto costo, la autonomía del paciente que implica decisiones complejas sobre terapias personalizadas y la necesidad de un consentimiento informado robusto que asegure que el paciente comprenda plenamente los beneficios, riesgos y limitaciones de dichos tratamientos.

Por ello, al revisar la bibliografía sobre la medicina de precisión, el análisis bioético se vuelve indispensable en este nuevo escenario, especialmente considerando que la vida humana debe ser respetada como un valor intransgredible (Kottow, 2022). Además, el almacenamiento de datos genéticos en biobancos genera preocupaciones sobre la capacidad de mantener la privacidad y confidencialidad de la información recolectada de cada paciente. A esto se suma la insuficiencia de evidencia científica sólida que respalde la utilidad clínica de muchos procedimientos, lo cual obliga a evaluar cuidadosamente los principios de beneficencia y no maleficencia (Erdmann et al., 2021).

Si bien la medicina de precisión representa una esperanza frente a diversas enfermedades complejas, también exige una profunda reflexión ética porque su uso podría derivar en consecuencias adversas como una mayor desigualdad en salud, vulneración de la privacidad o limitaciones de la autonomía del paciente, quien muchas veces se ve guiado por probabilidades en lugar de certezas (Rodríguez, 2019).

Con el objetivo de analizar críticamente estos desafíos bioéticos, se realizó una revisión bibliográfica de la literatura disponible en bases de datos académicas como PubMed, Scopus, Embase y ScienceDirect, que abarca el periodo de 2019 a 2024. Para la búsqueda, se incluyeron artículos en inglés y español que abordaran dilemas bioéticos en la medicina de precisión. La estrategia de búsqueda empleó términos MeSH y DeCS como “Precision Medicine”, “Bioethics”, “Informed Consent”, “Genetic Privacy” y “Health Equity”, combinados con operadores booleanos.

Los criterios de inclusión consideraron estudios clínicos, revisiones de literatura y estudios de caso publicados en revistas indexadas y revisadas por pares, así como artículos que abordaran explícitamente dilemas éticos relacionados con la medicina de precisión. Por el contrario, los criterios de exclusión incluyeron literatura gris, documentos de conferencias o fuentes no revisadas por pares; artículos publicados fuera del rango de fechas establecido (2019-2024) y artículos que no se centraran en la medicina de precisión o en dilemas éticos.

Posteriormente, se aplicaron filtros para seleccionar los estudios. Tras una lectura crítica de títulos y resúmenes, se seleccionaron 34 estudios relevantes. Es importante mencionar que durante todo el proceso se garantizó la integridad académica mediante el uso ético de fuentes confiables, la correcta citación de los autores originales y la protección de la confidencialidad en el manejo de información sensible.

Panorama de los desafíos bioéticos en medicina de precisión

Lehmann et al. (2022) publicaron un artículo denominado “Consideraciones éticas sobre la medicina de precisión y las pruebas genéticas en la práctica de la medicina interna: Un documento de posición del Colegio Americano de Médicos”, que tuvo como objetivo proporcionar orientación ética sobre la integración de la medicina de precisión y los análisis genéticos, así como su uso en la medicina interna, enfocándose en cómo estas tecnologías podían mejorar la atención médica y los desafíos éticos que presentaban. Para ello, el Comité de Ética, Profesionalismo y Derechos Humanos del Colegio Estadounidense de Médicos (ACP) llevó a cabo una revisión bibliográfica donde se evidenciaron las directrices éticas actuales para abordar las implicaciones de los estudios genéticos y la medicina de precisión. De este modo, se destacó que las pruebas genéticas debían estar guiadas en vista del bienestar superior de los pacientes, las bases científicas y los principios éticos. Se enfatizó en la importancia de que las pruebas sean clínicamente indicadas y los resultados influyan en la determinación de decisiones terapéuticas. Además, se discutieron los desafíos relacionados con la privacidad, la confidencialidad y el uso de los perfiles genéticos.

Finalmente, el ACP concluyó que no se aconsejaba el empleo de análisis genéticos directos al paciente y recomendó que estas pruebas deben realizarse en el escenario de un vínculo médico-paciente con asesoramiento adecuado. Este señaló que la medicina de precisión y las pruebas genéticas presentan la capacidad de perfeccionar la prestación de los servicios de salud, pero deben ser manejadas con cuidado para abarcar los conflictos éticos y proteger la privacidad del paciente.

Por otra parte, Kottow (2022), en su artículo *Medicina de precisión y transhumanismo: una mirada desde la Bioética*, publicado en Chile, tuvo como objetivo mostrar cómo la digitalización médica, perfeccionada por la medicina de precisión, se entrelaza con la medicina de perfeccionamiento. Esta última busca acrecentar y superar el desempeño y la morfología del organismo humano valorado como normal, culminando en la creación de entes transhumanos. Para ello, se seleccionaron investigaciones bioéticas que analizaran los estudios realizados y detallaran probables utilidades de la medicina de precisión. También, se incluyeron publicaciones sobre la exploración del transhumanismo, las cuales abordan distintas facetas de la medicina desiderativa o de perfeccionamiento, donde cada objetivo sirve como medio para alcanzar una meta posterior. De este modo, los resultados mencionan que la medicina de precisión y el transhumanismo han generado grandes aspiraciones en la población, en lo que respecta a manejos terapéuticos más efectivos y de mejoras funcionales tanto cognitivas como morales. Estas investigaciones han atraído valiosas fuentes de financiamiento provenientes de compañías que pronostican su explotación con fines de lucro. Se concluye que, debido a las incertidumbres, expectativas desmesuradas e intereses económicos en juego, en la transformación digital de la biomedicina, la bioética no ha logrado fomentar un debate estructurado. Por lo tanto, es vital advertir acerca de dos repercusiones ineludibles: la profundización de las brechas en el acceso a los avances biomédicos y los efectos disruptivos que la expansión biotecnológica podría ejercer sobre la estabilidad del proceso adaptativo humano, otros seres del planeta y el medio ambiente. Así, se destacó la urgencia de redirigir recursos hacia el estudio de problemas sociales y éticos exacerbados por la biotecnociencia sofisticada.

De igual manera, Almeida (2023), en su artículo *Bioética y medicina personalizada en el envejecimiento: explorar las complejidades*, publicado en Brasil, se enfocó en examinar los dilemas bioéticos relacionados con el uso de la medicina de precisión para el abordaje terapéutico y prevención de enfermedades asociadas con el envejecimiento. Para ello, se realizó una revisión de

estudios científicos sobre avances genómicos (farmacogenómica, nutrigenómica) y los retos bioéticos derivados de su implementación en medicina, obteniendo que la medicina de precisión permite adaptar tratamientos según características genéticas individuales, lo que ofrece potenciales beneficios en la atención médica de adultos mayores. No obstante, plantea riesgos éticos como la privacidad genética, el consentimiento informado, la equidad en el acceso y la posible discriminación genética. En consecuencia, se llegó a la conclusión de que, a pesar de sus beneficios, la medicina personalizada puede ampliar las desigualdades en salud si no se abordan adecuadamente sus implicaciones bioéticas y sociales, siendo necesario establecer regulaciones claras para su aplicación responsable.

Finalmente, Cifuentes et al. (2022), en su artículo titulado *Aspectos éticos y recomendaciones para investigación en seres humanos en la era genómica*, publicado en Chile, abordó los principales desafíos éticos derivados de la investigación en genómica, un área fundamental para el desarrollo de la medicina de precisión. Por ende, los autores señalan que el acceso a datos genómicos ha permitido importantes descubrimientos en cuanto a las causas genéticas de enfermedades raras y hereditarias, lo cual ha potenciado el desarrollo de tratamientos personalizados. En base a ello, realizaron una revisión de literatura internacional e integraron experiencias del Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos (CEISH) de la Universidad de Chile. De este modo, los resultados evidenciaron que, si bien el acceso a datos genómicos ha permitido avances significativos en la identificación de enfermedades raras y hereditarias, también plantea riesgos éticos importantes como la reidentificación de participantes, la exposición a discriminación y la vulneración de la privacidad. Adicionalmente, se destacó la necesidad de un consentimiento informado exhaustivo que detalle los posibles usos futuros de los datos y las medidas de protección de la confidencialidad.

En conclusión, los autores subrayan que la medicina de precisión, pese a sus beneficios, debe estar respaldada por estrategias éticas claras que regulen el manejo de la información genética. Es clave el rol de los comités de ética para salvaguardar los derechos fundamentales de los participantes, ya que los puede exponer a riesgos de discriminación, estigmatización y violaciones de su privacidad.

Definiciones de medicina de precisión

Es una disciplina médica emergente que se basa en el análisis detallado del perfil genético y biomolecular del paciente para diseñar estrategias terapéuticas personalizadas, que consideren no solo su información genética, sino también el contexto ambiental y conductual. Dicha aproximación ha impactado el ámbito médico, ofreciendo avances innovadores en el abordaje clínico de las enfermedades.

Este concepto fue introducido por primera vez en el año 2011 y ha ido adquiriendo creciente relevancia con el transcurso del tiempo. Su finalidad principal consiste en administrar tratamientos específicos a los pacientes indicados, en el momento oportuno. Es así que este enfoque incorpora una perspectiva poblacional al abordaje terapéutico, integrando múltiples dimensiones como los factores ambientales, genómicos, epigenómicos, transcriptómicos, proteómicos e incluso metabolómicos (Hurtado, 2022).

No obstante, el avance hacia la modernidad conlleva ciertos costos y la implementación de la medicina de precisión demanda una serie de consideraciones clave. En primer lugar, se encuentra el aspecto económico, dado el alto costo asociado. En segundo lugar, es indispensable contar con recursos biotecnológicos adecuados, como infraestructura especializada, biobancos, sistemas de bioinformática y herramientas estadísticas avanzadas. En tercer lugar, resulta fundamental disponer de datos representativos de la población local, ya que la mayoría de las investigaciones se han desarrollado en poblaciones de origen caucásico. Finalmente, es necesaria una apropiación social del concepto, lo cual implica su incorporación en la formación de profesionales de la salud y en la educación pública. En este sentido, el proceso facilitará la adopción de políticas y regulaciones pertinentes por parte del sistema de salud, especialmente en lo que respecta a la

protección de datos y a los principios éticos involucrados (Anaya, 2022).

Aplicaciones de la medicina de precisión

Aplicaciones en oncología

Una de las áreas donde la medicina de precisión ha tenido un impacto significativo es en la oncología. Esto se debe a que la secuenciación del genoma de las neoplasias hace posible el reconocimiento de alteraciones genéticas específicas que constituyen blancos terapéuticos para intervenciones personalizadas. Por ejemplo, en el cáncer de mama, la detección de variantes genéticas en los genes BRCA1 y BRCA2 ha permitido el desarrollo de tratamientos personalizados que mejoran significativamente la supervivencia de las pacientes (Martí-Bonmati, 2024). Sumado a esto, la medicina de precisión permite predecir la respuesta de los individuos a ciertos tratamientos, evitando así terapias ineficaces y reduciendo los efectos secundarios (Hurtado, 2022).

Enfermedades cardiovasculares

Ahmed et al. (2023) mencionan que las enfermedades cardiovasculares también se benefician de la medicina de precisión, ya que la identificación de alteraciones genéticas vinculadas con el riesgo de enfermedades cardíacas, permite una mejor estratificación del riesgo y la implementación de medidas preventivas más efectivas. Tal es el caso de la detección de variantes en el gen PCSK9 que ha llevado al desarrollo de inhibidores de PCSK9, medicamentos altamente efectivos para reducir el colesterol LDL y prevenir eventos cardiovasculares.

Enfermedades raras

La medicina de precisión ha cobrado relevancia en la identificación y tratamiento de patologías raras, cuyo origen suele estar vinculado a mutaciones genéticas específicas. La secuenciación del exoma o del genoma completo permite identificar mutaciones responsables de la enfermedad, que no solo facilita el diagnóstico, sino que también puede guiar el tratamiento. Por ejemplo, en la fibrosis quística, la identificación de mutaciones específicas en el gen CFTR ha permitido el desarrollo de moduladores de CFTR, que son tratamientos personalizados que mejoran significativamente la capacidad respiratoria y las condiciones de vida de los pacientes (Ruiz & Velásquez, 2023).

Medicina regenerativa

La medicina regenerativa es otra área donde la medicina de precisión está haciendo avances significativos. En este caso, la terapia génica y la edición genética como la tecnología CRISPR-Cas9, permiten corregir mutaciones genéticas en células madre que luego pueden ser utilizadas para regenerar tejidos dañados. Es por ello que tiene aplicaciones potenciales en una amplia gama de enfermedades, desde trastornos sanguíneos hasta enfermedades neurodegenerativas (Hurtado, 2022).

Inteligencia artificial y big data

Por otro lado, la integración de la inteligencia artificial (IA) y el procesamiento de grandes volúmenes de información (*Big Data*) representan un componente esencial en el desarrollo de la medicina de precisión. Considerando esto, la IA permite analizar extensos conjuntos de datos genómicos, proteómicos y clínicos con el fin de identificar patrones relevantes para la toma de decisiones médicas personalizadas, evidenciar patrones y predecir respuestas a tratamientos. Por ejemplo, en la imagen médica, los algoritmos de IA pueden mejorar la exactitud diagnóstica mediante la detección de anomalías sutiles que podrían no ser reconocidas por el observador humano. De la misma manera, permite optimizar la personalización de los esquemas terapéuticos en función de las características individuales de cada paciente, mejorando así los resultados

clínicos (Ruiz & Velásquez, 2023). Sin embargo, se debe mencionar que también pueden generar falsos positivos o reproducir sesgos de los datos de entrenamiento.

Farmacogenómica

Con respecto a la farmacogenómica, esta se basa en la identificación de combinaciones complejas de múltiples genes dentro del genoma que están asociadas a distintas respuestas a los fármacos. Se considera una de las tecnologías “ómicas” de mayor escala, que analiza el genoma completo y no se limita al estudio de genes individuales. (Aguilar, 2023)

Desafíos y futuro de la medicina de precisión

A pesar de sus numerosas ventajas, la medicina de precisión presenta algunas desventajas. La incorporación de información genómica en la atención médica cotidiana requiere una adecuada infraestructura y la formación de personal altamente capacitado. Asimismo, el manejo de información genómica muy personal abre un debate sobre su uso ético y la garantía de privacidad. Sin embargo, con el avance continuo de la tecnología y la colaboración interdisciplinaria, es probable que estos desafíos se superen, permitiendo que la medicina de precisión se convierta en una parte integral de la atención médica.

Proyecciones en la práctica clínica

Es evidente que las predicciones o estimaciones de los avances tecnológicos, científicos o médicos influirán y modificarán la atención médica en el futuro. Estas proyecciones anticipan cambios en la manera en que se diagnostican, tratan y previenen enfermedades, basados en la evolución de tecnologías emergentes como la medicina de precisión. En este contexto, las proyecciones que involucran a la inteligencia artificial, la genómica y las ciencias "ómicas" (proteómica, metabolómica, etc.) podrían transformar la práctica clínica, optimizando los tratamientos individualizados, mejorando la toma de decisiones y personalizando la atención médica según el perfil genético y molecular de cada paciente; caracterizándose como una de las áreas más prometedoras en la práctica clínica futura (Hurtado, 2022).

Según una revisión de Ghebrehiwet et al. (2024), destaca cómo la IA generativa, especialmente los modelos generativos profundos como las redes generativas adversarias (GANs) y los autoencoders variacionales (VAEs), están revolucionando la medicina personalizada. Estos modelos permiten la creación de datos sintéticos realistas que preservan la privacidad, facilitando el análisis de datos clínicos, imágenes médicas y datos ómicos para mejorar el diagnóstico temprano y la toma de decisiones clínicas. Estos avances permitirán el manejo personalizado de enfermedades, mejorando tanto el diagnóstico como el tratamiento mediante la agregación de datos genómicos, transcriptómicos, proteómicos y metabolómicos en la atención médica diaria. Aunque estas tecnologías ofrecen un gran potencial clínico, también plantean desafíos éticos y sociales que deben considerarse, como se detalla en las diez predicciones clave de Green et al. (2020) que forman parte de una visión para la genómica humana en 2030. Entre ellas, destacan a la secuenciación completa del genoma humano como pronta rutina en los laboratorios y permitirá una interpretación más a fondo de la función de cada gen, incluidas las regiones no codificantes del genoma. Además, se espera que los modelos predictivos sobre la relación genotipo-fenotipo integren factores epigenéticos y transcriptómicos, haciendo que las pruebas genómicas sean tan comunes como los análisis de sangre. También se anticipa que la relevancia clínica de todas las variantes genéticas será fácil de predecir, eliminando la incertidumbre sobre su impacto (Green et al., 2020).

No obstante, aunque estas proyecciones garantizan grandes avances, existe una creciente preocupación respecto a las implicaciones éticas y sociales. La medicina de precisión, al centrarse en tecnologías costosas y de alta complejidad, podría beneficiar solo a una pequeña parte de la población, exacerbando las desigualdades en el acceso a la atención médica (Gracias et al., 2024). Por tal razón, los autores enfatizan la necesidad de realizar pruebas de costo-beneficio desde una

perspectiva ética, para asegurar que estas tecnologías sean accesibles a todos y no aumenten las disparidades en salud.

Implicaciones bioéticas

La medicina de precisión es una parte integral que abarca múltiples aspectos que la engloban (farmacogenética, farmacogenómica, medicina regenerativa, diagnóstico, etc.); por ende, tiene el potencial de revolucionar el tratamiento médico al adaptar terapias según el perfil genético de cada individuo. Sin embargo, este avance trae consigo importantes desafíos bioéticos que deben ser abordados para asegurar la equidad, la justicia, la beneficencia en la atención sanitaria, así como el respeto a la autonomía, que a continuación se abordan:

Respeto a la autonomía (c onfidencialidad, privacidad y consentimiento informado)

Menciona Rodríguez (2022) que el respeto a la autonomía implica que los sujetos de investigación deben ser libres de tomar sus propias decisiones y actuar voluntariamente de acuerdo con sus valores, creencias y preferencias. Por otra parte, la World Health Organization (WHO, 2007) indica que el respeto hacia las personas implica reconocer y salvaguardar la autonomía de cada individuo, así como brindar especial protección a quienes se encuentran en condición de vulnerabilidad.

Bernhardt señala que la medicina de precisión afecta este principio al requerir que los pacientes comprendan información genética compleja, como variantes de riesgo y posibles resultados a largo plazo. Por tanto, muchos pacientes pueden tener dificultades para interpretar esta información, lo que puede limitar su capacidad para tomar decisiones realmente informadas y ejercer su autonomía. La necesidad de comprender términos científicos y probabilidades de riesgo genético complica el proceso de consentimiento informado (Rodríguez, 2022).

De forma complementaria, Stoll y Jackson (2020) afirman que los resultados de las pruebas genéticas en medicina de precisión pueden sugerir la necesidad de intervenciones preventivas (como cirugías o medicamentos) en pacientes que aún no presentan síntomas. Esta información puede ejercer presión sobre los pacientes para que tomen decisiones rápidas o preventivas, incluso cuando estas pueden no ser necesarias o definitivas, lo que podría comprometer la verdadera autonomía de su decisión.

Privacidad y confidencialidad

Thompson (2024) menciona que la confidencialidad está relacionada con el mantenimiento de la información obtenida en privado. La información obtenida se colocará en una base de datos (biobancos), donde mantener la confidencialidad no es algo absoluto; según algunos investigadores, hay un mayor riesgo de robo de datos, hackeos o mal uso por parte de entidades con fines lucrativos o de discriminación. Por este motivo, el autor plantea la siguiente interrogante: ¿Quién debería tener acceso a la información genética de los evaluados y cómo se puede proteger contra el acceso no autorizado?

Es así como los mayores desafíos bioéticos en la medicina de precisión son la protección y confidencialidad de los datos obtenidos, debido a que estos estudios suelen recopilar información sumamente sensible, por lo que los médicos e investigadores deben explicar las razones de su uso, dejando claro que se trata de un procedimiento voluntario sujeto al consentimiento informado.

Por otro lado, podemos destacar los beneficios de adquirir una base de datos genética siempre y cuando se respeten los estándares éticos internacionales. Por ejemplo, en el Perú, mediante el Decreto Legislativo N° 1398, se creó un Banco de Datos Genéticos (BDG) para la búsqueda de víctimas de desapariciones forzadas, estableciendo un régimen de protección de la información genética forense basado en principios constitucionales como la dignidad humana, la no

discriminación, la privacidad y la legalidad, además del principio de gratuidad propio de su finalidad. Si bien este ámbito forense se centra en las desapariciones, también abarca la persecución de otros delitos, generando la posibilidad de que se discuta la creación de bancos genéticos para delitos como los sexuales o la criminalidad organizada, siempre respetando estrictamente los derechos humanos (Sánchez-Montenegro, 2023).

Consentimiento informado

El consentimiento informado es un pilar ético, un sello distintivo y fundamental en cualquier tipo de investigación médica, que debe respetar siempre la autonomía del paciente y aclarar que es él quien tomará la decisión de participar o no.

Según Erdmann et al. (2021), diversas investigaciones cuantitativas señalan que los pacientes expresan el deseo de recibir información completa acerca de las pruebas, sus resultados y las alternativas terapéuticas disponibles, por lo que debe transmitirse de manera detallada las opciones de tratamiento basadas en su perfil genético y en sus requerimientos y preferencias.

Además, se debe informar y asegurar que el paciente comprenda y acepte los procedimientos que se llevarán a cabo, sin coerción ni manipulación, indicando cuál es la finalidad de la investigación y cómo se manejan los datos obtenidos. También se aplica para las comunidades o grupos, cuyos participantes deben tener la oportunidad de intervenir en las regulaciones de los estudios de medicina de precisión, lo que incluye decisiones sobre la recolección, uso y distribución de datos entre las comunidades científicas (Erdmann et al., 2021).

Beneficencia / no maleficencia

Según Appelbaum et al. (2023), beneficencia / no maleficencia se entiende no solo como limitarse a la toma de acciones correctas, sino también como un esfuerzo activo para impulsar el beneficio del paciente. Entre las ventajas de la medicina de precisión se pueden destacar a la optimización de la terapia individual, las predicciones de riesgo y la mejora de la prevención, lo que resulta en medicamentos más específicos, eficaces y seguros para el público.

Sin embargo, según Beshir (2020), la medicina de precisión puede incrementar la posibilidad de diagnósticos incidentales y tratamientos innecesarios. Por ejemplo, las pruebas genéticas pueden identificar mutaciones que no necesariamente resultarán en enfermedad, lo que podría llevar a intervenciones o medidas preventivas que generen efectos adversos o provoquen ansiedad en el paciente. La sobreinterpretación de datos genéticos puede así contravenir el principio de beneficencia, al hacer más probable el daño que el beneficio.

Un ejemplo de ello es el criticado experimento de He Jiankui con CRISPR/Cas9 en embriones humanos, donde hubo una clara falta de consideración del principio de beneficencia y del posible daño, ya que se realizó sin una adecuada evaluación riesgo-beneficio para los sujetos, quebrantando normas éticas y legales. Esto ha generado preocupación sobre el futuro de las gemelas que provinieron de esta intervención y el potencial uso eugenésico de la técnica, donde la selección de rasgos respondería a preferencias en lugar de necesidades terapéuticas.

Por lo tanto, es crucial distinguir entre el uso terapéutico y el eugenésico, asegurando que la investigación con CRISPR/Cas9 sea segura, controlada y orientada al bienestar humano, considerando las implicaciones intergeneracionales y situando la dignidad humana como principio rector al establecer lineamientos y leyes (Palacios, 2019).

Según López-Fernández et al. (2023), la información genética puede generar ansiedad, miedo o estigma en el paciente, especialmente cuando las pruebas indican riesgos futuros que aún carecen de tratamiento claro. La revelación de esta información puede, sin quererlo, causar daño emocional y psicológico. Para cumplir con el principio de no maleficencia, el manejo de estos datos debe

realizarse con extrema cautela, considerando su posible impacto en la vida del paciente.

Justicia en medicina de precisión

La medicina de precisión ofrece beneficios significativos, pero también puede exacerbar las desigualdades existentes en el acceso a la atención médica. En este sentido, Azzopardi et al. (2021) mencionan que la asignación de los servicios de salud se ve afectada por factores como la raza, la condición económica o incluso la información genética, lo que puede generar una distribución desigual de los recursos y vulnerar el principio de justicia. Frente a ello, surge un interrogante esencial: ¿podría la medicina de precisión contribuir a disminuir las desigualdades que actualmente persisten en los sistemas sanitarios?

Por otro lado, Rodríguez (2022) señala que el alto costo de los nuevos medicamentos y de las pruebas genéticas asociadas a la medicina personalizada limita considerablemente el número de pacientes que pueden acceder y beneficiarse, como sucede en las enfermedades raras, donde el desarrollo de terapias extremadamente costosas destinadas a un número reducido de personas.

Un ejemplo es el medicamento nusinersen, empleado para tratar la atrofia muscular espinal, una enfermedad neuromuscular recesiva causada por una rara mutación en el gen SMN1, que provoca una mortalidad del 90% en lactantes afectados antes de los 12 meses de edad. La aprobación de este fármaco por la FDA en 2016 presentó múltiples desafíos éticos y económicos debido a su alto costo y la complejidad de su administración, con una inversión estimada de millones de dólares por paciente a lo largo de su vida (Lee, 2020).

Igualmente, Ferryman (2023) enfatiza que la recopilación y el uso de datos genéticos deben llevarse a cabo con medidas estrictas de control para evitar el mal uso y la discriminación, ya que se evidencia la existencia de estudios en los que se incluyen genes asociados a ciertas características, como la raza, o considerados “genes riesgosos”, lo que puede generar hipervisibilidad o invisibilidad de ciertos grupos, favoreciendo racismo y marginación, e impidiendo que la medicina de precisión beneficie de manera equitativa a todos los sectores poblacionales.

Es por lo que se vuelve muy importante adoptar un enfoque ético que asegure y promueva la distribución equitativa de estos avances médicos. De lo contrario, existiría el riesgo de que solo ciertos grupos sociales o económicos se beneficien de ellos. En relación con ello, el reporte de la WHO (2007) destaca que es fundamental establecer y asegurar políticas de acceso inclusivas que no excluyan a las poblaciones vulnerables.

Veracidad

El principio de veracidad en el contexto de la medicina de precisión enfrenta múltiples desafíos significativos. Entre ellos encontramos la complejidad inherente a la interpretación de resultados genéticos, la incertidumbre asociada a ciertos hallazgos y la necesidad de actualización constante de la información. Por ello, para proteger este principio, es esencial que los profesionales estén debidamente capacitados y actualizados. Esto les permitirá comunicar claramente tanto las limitaciones como los beneficios de los estudios genéticos, promoviendo así la transparencia en el manejo de la información genética. De esta manera, los pacientes estarán en una mejor posición para tomar decisiones realmente informadas y preservar la confianza en la relación médico-paciente (Smit et al., 2024).

Según Vassy y Rothstein (2021), los datos genéticos suelen ser altamente complejos y en ocasiones difíciles de interpretar incluso para los propios profesionales de la salud. Por lo tanto, transmitir esta información de forma precisa, clara y comprensible representa un reto. Si se simplifican excesivamente los resultados, se corre el riesgo de generar malentendidos, mientras que una explicación demasiado técnica y poco clara puede impedir que los pacientes comprendan plenamente los riesgos y beneficios involucrados. Además, dado el interés comercial en pruebas y

tratamientos de medicina de precisión, algunos laboratorios o proveedores de servicios pueden presentar resultados de una manera que favorezca su uso, enfatizando los beneficios sin dejar claro el grado de incertidumbre o los posibles riesgos.

Un ejemplo ilustrativo de estas dificultades es el estudio realizado por Spector-Bagdady et al. (2022), en el que se analizaron las percepciones de pacientes y profesionales respecto a la participación en investigaciones relacionadas con la oncología de precisión. Los resultados mostraron que muchos pacientes a menudo tienen expectativas poco realistas sobre los beneficios personales que puede ofrecer su participación, suponiendo erróneamente que recibirán diagnósticos y tratamientos infalibles. Esta situación indica la necesidad de una comunicación más clara sobre las limitaciones y objetivos de tales estudios por parte de los profesionales de la salud para mantener la veracidad, ya que podría generar desilusión y desconfianza si los resultados no cumplen sus expectativas, afectando directamente al principio de veracidad.

Medicalización de la vida

La medicalización se refiere al proceso mediante el cual aspectos de la vida cotidiana son definidos y tratados como problemas médicos. En este sentido, Parra (2019) menciona que, con el desarrollo tanto del individuo como de la sociedad, los diferentes ámbitos del ser humano (política, economía, sociedad, cultura) se han unido en torno a su salud convirtiéndose en una condición de posibilidad para que esta pueda darse. Además, advierte que este fenómeno se ha expandido en las sociedades desarrolladas hasta adquirir una dimensión comercial de gran magnitud, beneficiando principalmente a la industria farmacéutica, la cual moviliza miles de millones en ingresos.

Del mismo modo, Casas (2023) plantea una crítica sobre cómo la medicalización puede despojar a la vida de su autenticidad y dignidad, transformando experiencias humanas naturales en patologías que requieren intervención médica. Esta tendencia, condiciona las prioridades de la investigación científica. Del mismo modo, mientras se invierten grandes recursos en el desarrollo de medicamentos de fácil distribución y alta demanda, se tiende a descuidar la investigación de enfermedades raras o poco prevalentes, debido a su escaso interés comercial.

En este contexto, la medicina de precisión podría desempeñar un papel clave para revertir esta situación, siempre que su aplicación se oriente a la equidad. De lo contrario, su implementación solo reforzaría las brechas existentes, perpetuando la desigualdad en lugar de corregirla.

Conclusiones

En los últimos años, la medicina de precisión ha emergido como un avance transformador en la forma de abordar diversas enfermedades, ofreciendo tratamientos altamente personalizados que se ajustan a las características genéticas, ambientales y de estilo de vida de cada individuo. Este enfoque no solo busca optimizar los resultados clínicos, sino también busca redefinir la relación entre la biotecnología y la práctica médica tradicional. Sin embargo, su implementación requiere un sólido compromiso ético que priorice valores fundamentales como la dignidad humana, la autonomía del paciente y la equidad, con el objetivo de garantizar una atención sanitaria inclusiva y respetuosa.

La revisión realizada en este trabajo permitió analizar los principales aspectos bioéticos relacionados con la aplicación de la medicina de precisión en el curso de las enfermedades, respondiendo al objetivo de evaluar cómo estos avances pueden implementarse respetando los principios éticos fundamentales. Se evidenció que, aunque esta tecnología representa un progreso significativo en el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades, también plantea dilemas éticos complejos que deben abordarse para garantizar su uso responsable y equitativo. Asimismo, se identificaron desafíos clave, como la protección de la privacidad de los datos genéticos, el respeto a la autonomía del paciente mediante un consentimiento informado claro y comprensible, y

la necesidad de promover la equidad en el acceso a estas innovaciones. Además, se resaltó la importancia de aplicar los principios de beneficencia y no maleficencia, evitando daños derivados de sobretratamientos, diagnósticos incidentales o de un manejo inadecuado de la información genética.

Por otra parte, el análisis permitió reflexionar sobre los avances en la medicina de precisión y comprender su pleno potencial, el cual solo puede alcanzarse si estos desarrollos se enmarcan en principios éticos que equilibren la innovación tecnológica con el respeto a la dignidad y los derechos fundamentales de los pacientes. Por ello, este enfoque debe situar al ser humano en el centro, reconociendo que el progreso tecnológico no debe vulnerar estos derechos, sino fortalecer un sistema de salud más inclusivo, eficiente y orientado al bienestar colectivo.

En ese sentido, se proponen acciones concretas para la implementación ética de la medicina de precisión en Perú. Entre ellas, se recomienda que el Estado, a través del Ministerio de Salud y el Instituto Nacional de Salud (INS), desarrolle políticas inclusivas que aseguren la distribución equitativa de sus beneficios, especialmente para las poblaciones más vulnerables. Esto implica realizar análisis de costo-beneficio desde una perspectiva bioética, evitando que la desigualdad en salud pueda incrementarse.

Del mismo modo, se recomienda establecer lineamientos para un consentimiento informado dinámico, dado que la información genética es compleja y puede generar nuevos hallazgos con el tiempo. Este consentimiento debe ser claro, comprensible y detallar los posibles usos futuros de los datos genéticos, así como los riesgos y beneficios de las intervenciones, permitiendo que el paciente revise y actualice sus decisiones a medida que avanza la ciencia.

También es indispensable definir regulaciones precisas y estrictas para el manejo de datos genéticos almacenados en biobancos, a fin de garantizar la protección de la información genómica. Estas pautas deben fundamentarse en principios constitucionales como la dignidad humana, la no discriminación y la privacidad, estableciendo controles rigurosos que eviten el uso indebido, la estigmatización o la discriminación de los pacientes. En este proceso, los comités de ética desempeñan un papel esencial para salvaguardar estos derechos.

Sumado a esto, es prioritario fortalecer las competencias de los profesionales de la salud en bioética y en la interpretación de resultados genéticos, de modo que puedan comunicar hallazgos de manera clara, veraz y comprensible para los pacientes, gestionando expectativas realistas. La comunicación debe ser transparente y equilibrada, informando tanto beneficios como incertidumbres, a fin de evitar diagnósticos o tratamientos innecesarios derivados de la sobreinterpretación de datos.

Finalmente, resulta indispensable priorizar el principio de no maleficencia antes de implementar cualquier intervención. Para ello, se requiere una evaluación rigurosa del riesgo-beneficio, asegurando que las acciones terapéuticas o preventivas no generen más perjuicios que beneficios. Este enfoque es crucial para diferenciar el uso terapéutico del eugenésico, garantizando que las intervenciones privilegien el bienestar humano y no la selección de características basada en preferencias.

En conclusión, esta revisión refuerza la necesidad de un enfoque bioético sólido que permita maximizar los beneficios de la medicina de precisión, asegurando su aplicación de manera justa, respetuosa y alineada con las necesidades de toda la sociedad.

Referencias

Aguilar, F. (2023). Medicina de precisión. *Acta Pediátrica De México*, *44*(6), 499-500.

Ahmed, L., Constantinidou, A. & Chatzittofis, A. (2023). Patients' perspectives related to ethical issues and risks in precision medicine: A systematic review. *Frontiers in Medicine (Lausanne)*, *10*, 1215663.

Almeida, P. P. (2023). Bioética y medicina personalizada en el envejecimiento: Explora las complejidades. *Revista Bioética*, *31*. https://doi.org/10.1590/1983-803420233588ES

Anaya, J. M. (2022). De la historia de la medicina a la medicina de precisión. *RevistaMédica*, *44*(2), 178–181. https://doi.org/

Appelbaum, P. S., Burke, W., Parens, E., Roberts, J., Berger, S. M. & Chung, W. K. (2023). Cases in Precision Medicine: Is There an Obligation to Return Reinterpreted Genetic Results to Former Patients? *Annals of Internal Medicine*, *176*(4), 563–567.

Azeez, S. S., Alansi, S. R., Alanazi, A. Z., Alsubaie, S. A., & Aloufi, A. S. (2024). Advances in CRISPR-Cas technology and its applications. *Frontiers in Genome Editing, 6*, 1509924. https://doi.org/10.3389/fgeed.2024.1509924

Azzopardi, M., Fenech, A., Cordina, M. & Agius, E. (2021). Ethical aspects pertaining to the use of pharmacogenetic tests. *Research in Social and Administrative Pharmacy, 17*(4), 799–804.

Beshir, L. (2020). *A framework to ethically approach incidental findings in genetic research. EJIFCC, 31*(4), 302–309.

Burstein, Z. & Cabezas, C. (2016). La Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública continúa al servicio de la salud pública del Perú y Latinoamérica. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(1), 10-12. https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2007

Casas, M. L. (2023). The medicalization of life: An interdisciplinary approach. *Heliyon*, *9*(6), e16637.

Cifuentes, L., Oyarzún, M., Yarmuch, K. & Bascuñán, M. L. (2022). Aspectos éticos y recomendaciones para investigación en seres humanos en la era genómica. *Revista Chilena de Infectología*, *39*(5), 640–648. http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182022000500640

Erdmann, A., Rehmann-Sutter, C. & Bozzaro, C. (2021). Patients' and professionals' views related to ethical issues in precision medicine: a mixed research synthesis. *BMC Medical Ethics*, *22*, 116.

Ferryman, K. (2023). Bounded justice, inclusion, and the hyper/invisibility of race in precision medicine. *The American Journal of Bioethics*, *23*(7), 27–33.

Ghebrehiwet, I., Zaki, N., Damseh, R., Al Alkeem, M. & Farooq, M. (2024). Revolutionizing personalized medicine with generative AI: A systematic review. *Artificial Intelligence Review*, *57*(128).

Gracias, A., Broklyn, P. & Shad, R. (2024). The ethical implications of precision medicine. *Health Education and Public Health.*

Green, E. D., Gunter, C., Biesecker, L. G., Di Francesco, V., Easter, C. L., Feingold, E. A., Felsenfeld, A. L., Kaufman, D. J., Ostrander, E. A., Pavan, W. J., Phillippy, A. M., Wise, A. L., Dayal, J. G., Kish, B. J., Mandich, A., Wellington, C. R., Wetterstrand, K. A., Bates, S. A., Leja, D., … Manolio T. A. (2020). Strategic vision for improving human health at the forefront of genomics. *Nature*, *586*(7831), 683–692. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2817-4

Hurtado, C. (2022). Medicina de precisión: Conceptos, aplicaciones y proyecciones. *Revista Médica*

Clínica Las Condes, *33*(1), 7–16.

Kottow, M. (2022). Medicina de precisión y transhumanismo: una mirada desde la bioética. *Revista Colombiana de Bioética*, *17*(1), 67–77.

Lee, S. S. J. (2020). Obligations of the "Gift": Reciprocity and Responsibility in Precision Medicine. *The American Journal of Bioethics*, *21*(4), 57–66.

Lee, J., & Lee, H. (2024). Rare disease genomics and precision medicine. (e28). https://doi.org/10.1186/s44342-024-00032-1

Lehmann, L. S., Snyder Sulmasy, L. S., Opole, I. O., Deep, N. N., Abraham, G. M., Burnett, J., Callister, T. B., Carney, J. K., Cooney, T., Esbensen, K. L., Fins, J. J., Harp, T., Holbrook, A. K., Thomas, Huddle, S., Levine, M. A., Prager, K. & Burke, W. (2022). Ethical considerations in precision medicine and genetic testing in internal medicine practice: A position paper from the American College of Physicians. *AnnalsofInternal Medicine*, *175*(9), 1322–1323. https://doi.org/10.7326/M22-0743

López-Fernández, A., Villacampa, G., Salinas, M., Grau, E., Darder, E., Carrasco, E., Solanes, A., Velasco, A., Torres, M., Munté, E., Iglesias, S., Torres-Esquius, S., Tuset, N., Diez, O., Lázaro, C., Brunet, J., Corbella, S. & Balmaña, J. (2023). Role of psychological background in cancer susceptibility genetic testing distress: It is not only about a positive result. *Journal of Genetic Counseling*, *32*(1), 1687.

Martí-Bonmatí, L. (2024). Inteligencia artificial, imagen médica y medicina de precisión: Avances y perspectivas. *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina de España*. https://doi.org/

Palacios, M. L. (2019). CRISPR/Cas9: Edición Genética vs. Bioética: Un análisis bioético de la técnica de edición d genes llamada CRISPR/Cas9. *Apuntes De Bioética*, *2*(1), 18-29.

Parra, J. (2019). La medicalización de la vida y la sociedad contemporánea: origen, participantes y consecuencias. *Bajo Palabra*, *22*, 221–238. https://doi.org/10.15366/bp2019.22.011

Rodríguez, E. (2022). The application of bioethical principles in the use of pharmacogenomics in person-centered medicine. *Medical Research Archives, 10*(7).

Rodríguez, J. M. (2019). Medicina de precisión y medicina basada en la evidencia. *Revista Médica Militar*. https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/321/398

Ruiz, R. B. & Velásquez, J. D. (2023). Inteligencia artificial al servicio de la salud. *Revista Médica Clínica Las Condes*, *34*(2), 123–135. https://doi.org/

Sánchez-Montenegro, J. P. (2023). El derecho a la intimidad genética: apuntes para la construcción de un régimen jurídico de protección de la información genética. *Apuntes De Bioética*, *6*(2), 44-67.

Smit, A. K., Newson, A. J., Best, M., Butow, P., Williams, R., Morton, R., Cust, A. E., & Tiller, J. (2024). *Ethical, legal, and social issues related to genetics and precision medicine. Seminars in Cancer Biology, 96*, 104–114.

Spector-Bagdady, K., Kent, M., Krenz, C., Brummel, C., Swiecicki, P., Brenner, J. & Shuman, A. (2022). Patient and provider perspectives on enrollment in precision oncology research: Qualitative ethical analysis. *JMIR Cancer*, *8*(2), e35033.

Stoll, K. & Jackson, J. (2020). Supporting Patient Autonomy and Informed Decision-Making in Prenatal Genetic Testing. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, *10*(6), a036509.

Thompson, S. (2024). Biobanking and privacy: Ethical issues in genetic research. *Journal of Biochemistry and Biotechnology*, *7*(6), 233. https://doi.org/10.35841/aabb-7.6.233

Vassy, J. L. & Rothstein, M. A. (2017). Implicaciones éticas y legales de la farmacogenómica. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, *18*, 465–487.

World Health Organization. (2007). *The ethical, legal and social implications of pharmacogenomics in developing countries*. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43669/9789241595469_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y

References

1. Aguilar, F. (2023). Medicina de precisión. Acta Pediátrica De México, 44(6), 499-500. https://doi.org/10.18233/apm.v44i6.2840
2. Ahmed, L., Constantinidou, A. & Chatzittofis, A. (2023). Patients' perspectives related to ethical issues and risks in precision medicine: A systematic review. Frontiers in Medicine (Lausanne), 10, 1215663. https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1215663
3. Almeida, P. P. (2023). Bioética y medicina personalizada en el envejecimiento: Explora las complejidades. Revista Bioética, 31. https://doi.org/10.1590/1983-803420233588ES
4. Anaya, J. M. (2022). De la historia de la medicina a la medicina de precisión. Revista Médica, 44(2), 178–181. https://doi.org/10.56050/01205498.1677
5. Appelbaum, P. S., Burke, W., Parens, E., Roberts, J., Berger, S. M. & Chung, W. K. (2023). Cases in Precision Medicine: Is There an Obligation to Return Reinterpreted Genetic Results to Former Patients? Annals of Internal Medicine, 176(4), 563–567. https://doi.org/10.7326/M22-3682
6. Azeez, S. S., Alansi, S. R., Alanazi, A. Z., Alsubaie, S. A., & Aloufi, A. S. (2024). Advances in CRISPR-Cas technology and its applications. Frontiers in Genome Editing, 6, 1509924. https://doi.org/10.3389/fgeed.2024.1509924
7. Azzopardi, M., Fenech, A., Cordina, M. & Agius, E. (2021). Ethical aspects pertaining to the use of pharmacogenetic tests. Research in Social and Administrative Pharmacy, 17(4), 799–804. https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2020.06.013
8. Beshir, L. (2020). A framework to ethically approach incidental findings in genetic research. EJIFCC, 31(4), 302–309.
9. Burstein, Z. & Cabezas, C. (2016). La Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública continúa al servicio de la salud pública del Perú y Latinoamérica. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 33(1), 10-12. https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2007
10. Casas, M. L. (2023). The medicalization of life: An interdisciplinary approach. Heliyon, 9(6), e16637. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16637
11. Cifuentes, L., Oyarzún, M., Yarmuch, K. & Bascuñán, M. L. (2022). Aspectos éticos y recomendaciones para investigación en seres humanos en la era genómica. Revista Chilena de Infectología, 39(5), 640–648. http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182022000500640
12. Erdmann, A., Rehmann-Sutter, C. & Bozzaro, C. (2021). Patients’ and professionals’ views related to ethical issues in precision medicine: a mixed research synthesis. BMC Medical Ethics, 22, 116. https://doi.org/10.1186/s12910-021-00682-8
13. Ferryman, K. (2023). Bounded justice, inclusion, and the hyper/invisibility of race in precision medicine. The American Journal of Bioethics, 23(7), 27–33. https://doi.org/10.1080/15265161.2023.2207515
14. Ghebrehiwet, I., Zaki, N., Damseh, R., Al Alkeem, M. & Farooq, M. (2024). Revolutionizing personalized medicine with generative AI: A systematic review. Artificial Intelligence Review, 57(128). https://doi.org/10.1007/s10462-024-10768-5
15. Gracias, A., Broklyn, P. & Shad, R. (2024). The ethical implications of precision medicine. Health Education and Public Health.
16. Green, E. D., Gunter, C., Biesecker, L. G., Di Francesco, V., Easter, C. L., Feingold, E. A.,

Felsenfeld, A. L., Kaufman, D. J., Ostrander, E. A., Pavan, W. J., Phillippy, A. M., Wise, A. L., Dayal, J. G., Kish, B. J., Mandich, A., Wellington, C. R., Wetterstrand, K. A., Bates, S. A., Leja, D., … Manolio T. A. (2020). Strategic vision for improving human health at the forefront of genomics. Nature, 586(7831), 683–692. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2817-4

17. Hurtado, C. (2022). Medicina de precisión: Conceptos, aplicaciones y proyecciones. Revista Médica Clínica Las Condes, 33(1), 7–16. https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.01.002
18. Kottow, M. (2022). Medicina de precisión y transhumanismo: una mirada desde la bioética. Revista Colombiana de Bioética, 17(1), 67–77. https://doi.org/10.18270/rcb.v17i1.4012
19. Lee, S. S. J. (2020). Obligations of the “Gift”: Reciprocity and Responsibility in Precision Medicine. The American Journal of Bioethics, 21(4), 57–66. https://doi.org/10.1080/15265161.2020.1851813
20. Lee, J., & Lee, H. (2024). Rare disease genomics and precision medicine. Genomics & Informatics, 22(e28). https://doi.org/10.1186/s44342-024-00032-1
21. Lehmann, L. S., Snyder Sulmasy, L. S., Opole, I. O., Deep, N. N., Abraham, G. M., Burnett, J., Callister, T. B., Carney, J. K., Cooney, T., Esbensen, K. L., Fins, J. J., Harp, T., Holbrook, A. K., Thomas, Huddle, S., Levine, M. A., Prager, K. & Burke, W. (2022). Ethical considerations in precision medicine and genetic testing in internal medicine practice: A position paper from the American College of Physicians. Annals of Internal Medicine, 175(9), 1322–1323. https://doi.org/10.7326/M22-0743
22. López-Fernández, A., Villacampa, G., Salinas, M., Grau, E., Darder, E., Carrasco, E., Solanes, A., Velasco, A., Torres, M., Munté, E., Iglesias, S., Torres-Esquius, S., Tuset, N., Diez, O., Lázaro, C., Brunet, J., Corbella, S. & Balmaña, J. (2023). Role of psychological background in cancer susceptibility genetic testing distress: It is not only about a positive result. Journal of Genetic Counseling, 32(1), 1687. https://doi.org/10.1002/jgc4.1687
23. Martí-Bonmatí, L. (2024). Inteligencia artificial, imagen médica y medicina de precisión: Avances y perspectivas. Anales de la Real Academia Nacional de Medicina de España. https://doi.org/10.32440/ar.2024.141.02.rev02
24. Palacios, M. L. (2019). CRISPR/Cas9: Edición Genética vs. Bioética: Un análisis bioético de la técnica de edición d genes llamada CRISPR/Cas9. Apuntes De Bioética, 2(1), 18-29. https://doi.org/10.35383/apuntes.v2i1.238
25. Parra, J. (2019). La medicalización de la vida y la sociedad contemporánea: origen, participantes y consecuencias. Bajo Palabra, 22, 221–238. https://doi.org/10.15366/bp2019.22.011
26. Rodríguez, E. (2022). The application of bioethical principles in the use of pharmacogenomics in person-centered medicine. Medical Research Archives, 10(7). https://doi.org/10.18103/mra.v10i7.2881
27. Rodríguez, J. M. (2019). Medicina de precisión y medicina basada en la evidencia. Revista Médica Militar. https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/321/398
28. Ruiz, R. B. & Velásquez, J. D. (2023). Inteligencia artificial al servicio de la salud. Revista Médica Clínica Las Condes, 34(2), 123–135. https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.12.001
29. Sánchez-Montenegro, J. P. (2023). El derecho a la intimidad genética: apuntes para la construcción de un régimen jurídico de protección de la información genética. Apuntes De Bioética, 6(2), 44-67. https://doi.org/10.35383/apuntes.v6i2.994
30. Smit, A. K., Newson, A. J., Best, M., Butow, P., Williams, R., Morton, R., Cust, A. E., & Tiller, J. (2024). Ethical, legal, and social issues related to genetics and precision medicine. Seminars in Cancer Biology, 96, 104–114.
31. Spector-Bagdady, K., Kent, M., Krenz, C., Brummel, C., Swiecicki, P., Brenner, J. & Shuman, A. (2022). Patient and provider perspectives on enrollment in precision oncology research: Qualitative ethical analysis. JMIR Cancer, 8(2), e35033. https://doi.org/10.2196/35033
32. Stoll, K. & Jackson, J. (2020). Supporting Patient Autonomy and Informed Decision-Making in Prenatal Genetic Testing. Cold Spring Harbor perspectives in medicine, 10(6), a036509. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a036509
33. Thompson, S. (2024). Biobanking and privacy: Ethical issues in genetic research. Journal of Biochemistry and Biotechnology, 7(6), 233. https://doi.org/10.35841/aabb-7.6.233

34. Vassy, J. L. & Rothstein, M. A. (2017). Implicaciones éticas y legales de la farmacogenómica. Annual Review of Genomics and Human Genetics, 18, 465–487.
35. World Health Organization. (2007). The ethical, legal and social implications of pharmacogenomics in developing countries. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43669/9789241595469_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y