

Nutrición Clínica en Medicina

Revista científica dedicada a la revisión de temas relevantes en el área de la Nutrición Clínica y la Alimentación

Impacto de las dietas MIND, mediterránea y DASH en la prevención y tratamiento del deterioro cognitivo en la persona mayor: una revisión sistemática

Impact of MIND diets, Mediterranean and DASH on cognitive decline prevention and treatment in older people: a systematic review

María José Zúñiga Barra, Camila Navarro Herrera, Carolina Estremadoyro Baraona y Fabián Vásquez Vergara

Nutrición parenteral intradiálisis: una actualización de la evidencia. Propuesta de protocolo clínico

Intradialysis Parenteral Nutrition: An Update on the Evidence. Proposal for a Clinical Protocol

Irene Bretón Lesmes, Francisco Pita Gutiérrez, Carmen Aragón Valera, Marta Motilla de la Cámara y Rosa Romero Jiménez

Hidratación en el paciente hospitalizado: un punto clave, aunque infravalorado

Hydration in hospitalized patients: a key but underestimated issue

María Casado Rodríguez y María D. Ballesteros Pomar

Aportaciones de la inteligencia artificial en el área de la obesidad

Contributions of artificial intelligence in the field of obesity

Isabel De la Torre Díez, Mónica Casas Domínguez y Daniel Antonio de Luis Román

www.nutricionclinicaenmedicina.com

VOLUMEN XVIII N° 3 2024

[r e v i s i ó n]

Impacto de las dietas MIND, mediterránea y DASH en la prevención y tratamiento del deterioro cognitivo en la persona mayor: una revisión sistemática

Impact of MIND diets, Mediterranean and DASH on cognitive decline prevention and treatment in older people: a systematic review

María José Zúñiga Barra, Camila Navarro Herrera, Carolina Estremadoyro Baraona y Fabián Vásquez Vergara

Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad Finis Terrae, Santiago. Chile

Cómo citar este trabajo

Zúñiga Barra MJ, Navarro Herrera C, Estremadoyro Baraona C y Vásquez Vergara F. Impacto de las dietas MIND, mediterránea y DASH en la prevención y tratamiento del deterioro cognitivo en la persona mayor: una revisión sistemática. Nutr Clin Med 2024;18(3):121-136

Palabras clave

Dieta mediterránea, dieta DASH, dieta MIND, enfermedad de Alzheimer, deterioro cognitivo.

>>RESUMEN

Introducción: Las enfermedades neurodegenerativas, como la enfermedad de Alzheimer (EA) y enfermedad de Parkinson (EP), son trastornos crónicos de inicio gradual y progresión continua que resultan en un deterioro funcional significativo. A medida que progresan, los pacientes se vuelven cada vez más dependientes de cuidadores, lo que generalmente requiere institucionalización, exacerbando su salud física y mental. La creciente prevalencia de estas enfermedades en la población mundial, especialmente entre las personas mayores, subraya la necesidad de mejorar la comprensión, prevención y tratamiento de estos trastornos.

Metodología: Se realizó una búsqueda en bases de datos PubMed, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar y Cochrane Library desde enero de 2009 hasta noviembre de 2024. La búsqueda incluyó términos: "Mediterranean diet", "DASH diet", "MIND diet", "cognitive decline", "Alzheimer",

Correspondencia

Carolina Estremadoyro Baraona y
Fabián Vásquez Vergara
Email: cestremadoyro@uft.cl
fvasquez@uft.cl

Obra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
Más información:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



"Parkinson" y "neurodegenerative diseases". Los estudios seleccionados fueron evaluados usando las herramientas PRISMA, STROBE y Cochrane Risk of Bias. Se incluyeron ensayos clínicos, estudios de cohortes, estudios longitudinales y metaanálisis que evaluaron la relación entre los patrones dietéticos y la salud cognitiva.

Resultados: Se seleccionaron 17 estudios, incluidos estudios observacionales, ensayos clínicos y metaanálisis. Los resultados indicaron que la dieta Mediterránea-DASH para el retraso neurodegenerativo (MIND), que combina elementos de las dietas Mediterránea y DASH, tiene un efecto protector significativo contra el deterioro cognitivo y la reducción del riesgo de Alzheimer. La dieta Mediterránea mostró beneficios, aunque de menor magnitud, y la dieta para detener la hipertensión arterial (DASH) mejoró la salud cardiovascular, lo que contribuyó indirectamente a la preservación cognitiva.

Conclusiones: Esta revisión destaca el potencial de las intervenciones dietéticas, especialmente la dieta MIND, en la prevención del deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas. Sin embargo, se necesita más investigación, especialmente estudios a largo plazo con muestras más grandes y un mejor control de los factores de confusión, para establecer con mayor certeza la relación causal entre la dieta y la salud cognitiva.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 121-136

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0001

Key words

Mediterranean diet, DASH diet, MIND diet, Alzheimer's disease, cognitive decline.

<<ABSTRACT

Introduction: Neurodegenerative diseases, such as Alzheimer's disease (AD) and Parkinson's disease (PD), are chronic disorders with a gradual onset and progression, leading to significant functional impairment. As these diseases advance, patients become increasingly dependent on caregivers, often requiring institutionalization, which exacerbates their physical and mental health. The aging global population raises concerns as neurodegenerative diseases are more prevalent among older adults, necessitating further understanding, prevention, and treatment of these diseases.

Methods: A comprehensive search was conducted in PubMed, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar, and Cochrane Library from January 2006 to November 2024. The search included terms: "Mediterranean diet", "DASH diet", "MIND diet", "cognitive decline", "Alzheimer", "Parkinson", and "neurodegenerative diseases." Studies meeting the inclusion criteria were assessed using PRISMA, STROBE and Cochrane Risk of Bias tools. Studies included clinical trials, cohort studies, longitudinal studies, and meta-analyses that evaluated the relationship between dietary patterns and cognitive health.

Results: A total of 17 studies were selected, including observational studies, clinical trials, and meta-analyses. The results indicated that the diets the Mediterranean-DASH Diet Intervention for Neurodegenerative Delay (MIND), combining elements of the Mediterranean and DASH diets, is particularly promising in preventing cognitive decline and reducing the risk of Alzheimer's disease. The Mediterranean diet also showed benefits, although to a lesser extent, while the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) positively influenced cardiovascular health, which indirectly preserved cognitive function.

Conclusions: This review highlights the potential of dietary interventions, particularly the MIND diet, in preventing cognitive decline and neurodegenerative diseases. However, further research is needed, especially long-term studies with larger sample sizes and more robust control of confounding factors, to firmly establish the causal relationship between diet and cognitive health.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 121-136

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0001

>> INTRODUCCIÓN

Las enfermedades neurodegenerativas, como la EA y la EP, son trastornos crónicos que presentan un inicio insidioso y una progresión gradual, lo que genera un significativo impacto en la calidad de vida de los pacientes afectados. Estos trastornos se caracterizan por un deterioro funcional progresivo que, con el tiempo, aumenta la dependencia de los pacientes y requiere la intervención de cuidadores, generalmente familiares. En las etapas más avanzadas de la enfermedad, se hace necesaria la institucionalización del paciente, lo que puede agravar su bienestar físico y emocional, afectando no solo la salud del paciente, sino también la de los cuidadores^{1,2}. Estas enfermedades representan una de las principales causas de discapacidad en personas mayores, lo que resalta la urgencia de desarrollar estrategias de prevención y tratamiento eficaces³.

El envejecimiento de la población mundial ha generado una creciente preocupación debido a la alta prevalencia de las enfermedades neurodegenerativas en personas mayores. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que para el año 2050, una de cada seis personas tendrá más de 65 años, lo que equivale a aproximadamente 1.600 millones de personas a nivel mundial⁴. Este cambio demográfico refuerza la necesidad de enfoques de salud pública que incluyan estrategias para la prevención y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas^{5,6}.

En este contexto, la identificación de los mecanismos subyacentes de estas enfermedades y el desarrollo de intervenciones eficaces son esenciales. En particular, el papel de los patrones dietéticos ha cobrado importancia, ya que varios estudios sugieren que una alimentación adecuada puede tener efectos protectores frente al deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas^{7,8}. Entre los patrones dietéticos más estudiados se encuentran la dieta Mediterránea, la dieta DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension) y la dieta MIND (Mediterranean-DASH Diet Intervention for Neurodegenerative Delay), todas ellas asociadas con una mejora en la salud cognitiva y la prevención de enfermedades como el Alzheimer⁸⁻¹⁰.

La dieta mediterránea es un patrón alimentario basado en alimentos naturales como frutas, verduras, cereales integrales, frutos secos, aceite de oliva y pescado. Ha demostrado ser beneficiosa para la salud cardiovascular y la prevención de enfermedades crónicas como las enfermedades cardíacas y la diabetes^{11,12}. Esta dieta ha sido ampliamente estudiada y se ha demostrado que reduce el riesgo de enfermedades neurodegenerativas, especialmente el Alzheimer⁷.

Por su parte, la dieta DASH, diseñada inicialmente para controlar la hipertensión arterial, ha mostrado efectos positivos no solo sobre la presión sanguínea, sino también sobre la salud cognitiva. La dieta DASH, rica en frutas, verduras, granos integrales, lácteos bajos en grasa, y baja en sodio, ha sido asociada con una reducción del riesgo de deterioro cognitivo y demencia, debido a su impacto en los factores de riesgo cardiovascular, como la hipertensión arterial, que es un factor importante para el desarrollo de la demencia^{13,14}.

En cuanto a la dieta MIND, que combina aspectos de la dieta Mediterránea y la DASH, ha emergido como un enfoque prometedor para prevenir el deterioro cognitivo y reducir el riesgo de Alzheimer. La dieta MIND, rica en nutrientes bioactivos y antioxidantes, se ha asociado con una disminución en la incidencia de la enfermedad de Alzheimer, mejorando la función cerebral a través de la ingesta de alimentos específicos como las verduras de hojas verdes, las bayas, las nueces y el aceite de oliva, a la vez que limita la carne roja, los alimentos procesados y las grasas saturadas^{8,9}. Este patrón alimentario ha mostrado resultados positivos no solo en la prevención del Alzheimer, sino también en la mejora de la memoria y la función cognitiva general en las personas mayores⁵.

Este artículo tiene como objetivo revisar la evidencia científica disponible sobre los efectos de estos patrones dietéticos, especialmente la dieta MIND, Mediterránea y DASH, en la prevención y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, con un enfoque particular en el Alzheimer y el Parkinson. Se pretende consolidar los hallazgos más recientes y proporcionar un análisis exhaustivo de los beneficios de estos enfoques dietéticos en la salud cognitiva, así como identificar las posibles limitaciones y áreas para futuras investigaciones en este campo.

>>METODOLOGÍA

Se realizó una revisión bibliográfica siguiendo las directrices de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) con el objetivo de evaluar los efectos de las dietas Mediterránea, DASH y MIND en la prevención del deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas. A continuación, se detallan los pasos metodológicos seguidos:

1. Se llevó a cabo una búsqueda en cinco bases de datos científicas relevantes: PubMed, Science Direct, Web of Science, Google Scholar y Cochrane Library. La búsqueda incluyó artículos publicados entre enero de 2006 y noviembre de 2024, utilizando combinaciones de términos clave relacionados con los patrones dietéticos, el deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas. Los términos de búsqueda incluyeron "Mediterranean diet", "DASH diet", "MIND diet", "cognitive decline", "Alzheimer", "Parkinson" y "neurodegenerative diseases". Se emplearon operadores booleanos (AND, OR) y filtros para idioma (inglés y español) y población (personas mayores de 60 años). En el contexto de esta revisión, el 'outcome' (resultado) de interés fue el deterioro cognitivo, el cual se definió como cualquier disminución significativa en las funciones cognitivas evaluadas mediante pruebas estandarizadas o criterios clínicos. Los estudios seleccionados debían reportar medidas objetivas o subjetivas del deterioro cognitivo como variable de resultado principal o secundaria. Se consideraron los siguientes 'outcomes' para evaluar el impacto de las intervenciones dietéticas en el deterioro cognitivo: Puntuaciones en pruebas neuropsicológicas estandarizadas (MMSE, MoCA, ADAS-Cog) que evalúan dominios cognitivos como memoria, atención, lenguaje y función ejecutiva. Diagnóstico clínico de deterioro cognitivo leve (DCL) o demencia según criterios establecidos (DSM-5, NINCDS-ADRDA). Cambios en biomarcadores relacionados con la función cognitiva (niveles de beta-amiloide en líquido cefalorraquídeo). Medidas de calidad de vida relacionadas con la cognición informadas por los participantes o sus cuidadores.

2. Criterios de inclusión y exclusión: los estudios seleccionados debían cumplir con los siguientes criterios de inclusión:

- Publicación entre enero de 2006 y noviembre de 2024.
- Idioma: inglés o español.
- Población: personas mayores de 60 años con deterioro cognitivo leve, en riesgo de desarrollar enfermedades neurodegenerativas (como Alzheimer o Parkinson) o saludables.
- Diseño del estudio: ensayos clínicos, estudios de cohortes, estudios longitudinales, meta-análisis u observacionales.
- Intervenciones dietéticas: evaluación de las dietas Mediterránea, DASH o MIND, con o sin combinación con otros factores como ejercicio físico.

Se excluyeron:

- Revisiones sistemáticas para evitar solapamiento de datos.
- Estudios sin datos específicos sobre patrones dietéticos o con diseño metodológico deficiente.
- Artículos publicados en idiomas distintos al inglés o español.

3. Evaluación de calidad: La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada utilizando herramientas validadas. Para los ensayos clínicos se utilizó la herramienta Cochrane Risk of Bias (RoB), evaluando aspectos como generación de secuencias aleatorias, ocultación de asignación, sesgo, manejo de datos incompletos y otros sesgos potenciales. Para los estudios observacionales, se utilizó la Newcastle-Ottawa Scale (NOS), evaluando selección, comparabilidad y calidad de los desenlaces reportados.

4. Extracción y síntesis de datos: se recopiló información clave de cada estudio, incluyendo:

- Diseño del estudio.
- Tamaño muestral y características de la población.
- Duración del seguimiento.
- Métodos de evaluación de la dieta y los desenlaces cognitivos.
- Principales hallazgos.

Los resultados fueron sintetizados cualitativamente, organizados y adicionalmente, se exploraron patrones comunes entre los estudios, como los

efectos específicos de cada dieta en la cognición global, la memoria y las funciones ejecutivas.

>>RESULTADOS

Para seleccionar los 17 estudios incluidos en esta revisión sistemática, se siguió un proceso riguroso y secuencial que aseguró la calidad y relevancia de los estudios analizados. A continuación, se describe el proceso paso a paso de selección de los estudios (figura 1).

El proceso de selección de los estudios se realizó en tres etapas:

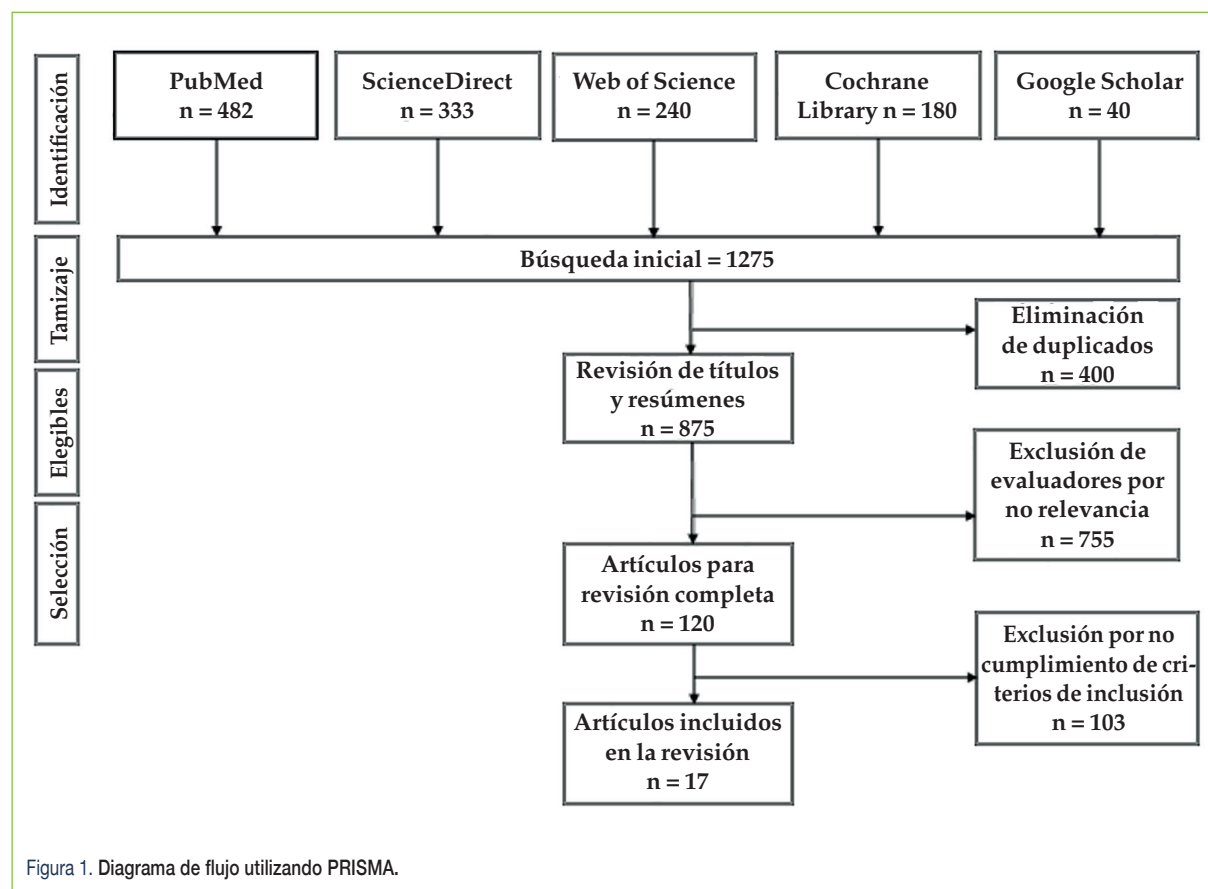
- Eliminación de duplicados: Los resultados obtenidos en las bases de datos fueron revisados para eliminar duplicados, reduciendo la muestra inicial de 1257 artículos a 875.
- Revisión de títulos y resúmenes: Dos revisores independientes evaluaron los títulos y resúmenes para determinar su relevancia. Tras esta etapa, se excluyeron 755 artículos, dejando un total de 120 para revisión completa.

- Evaluación de texto completo: Los textos completos de los 120 artículos fueron revisados para confirmar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Finalmente, se seleccionaron 17 estudios para el análisis cualitativo.

Un total de 103 artículos fueron excluidos tras la revisión del texto completo. Las razones principales incluyeron:

- No evaluaban patrones dietéticos: 40 artículos.
- Diseño metodológico inadecuado, como revisiones sistemáticas: 32 artículos.
- Población fuera del rango de edad o sin diagnóstico relevante: 20 artículos.
- Idioma distinto al inglés o español: 11 artículos.

Todos los estudios incluidos declararon haber obtenido la aprobación ética correspondiente y el consentimiento informado de los participantes. Los datos analizados fueron anonimizados para proteger la confidencialidad de los participantes.



Características de los estudios seleccionados

La **tabla 1** resume las características principales de los 17 estudios incluidos en la revisión sistemática, proporcionando información detallada sobre

su diseño metodológico, población de estudio, duración del seguimiento, métodos de evaluación y principales hallazgos en relación con los efectos de los patrones dietéticos en la prevención y tratamiento del deterioro cognitivo.

TABLA I. DESCRIPCIÓN DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Autor (año)	Diseño del estudio	Multicéntrico	Duración	Población	Métodos de evaluación	Resultados principales
Scarmeas <i>et al.</i> (2006) ⁷	Cohorte prospectiva	No	4 años	Adultos mayores sin deterioro cognitivo	Cuestionarios dietéticos, pruebas neuropsicológicas	Mayor adherencia a la dieta mediterránea redujo el riesgo de enfermedad de Alzheimer (HR = 0,67; IC 95 %: 0,48-0,94)
De Crom <i>et al.</i> (2022) ⁸	Cohorte basado en población	No	15,6 años	5375 participantes del Estudio de Rotterdam, edad media de 62 años al inicio	La adherencia a la dieta MIND se evaluó mediante un cuestionario de frecuencia alimentaria. Se determinó la incidencia de demencia a través de evaluaciones clínicas periódicas y registros médicos.	Una mayor adherencia a la dieta MIND se asoció con un menor riesgo de demencia (HR 0.86; IC 95%: 0.75-0.98). La asociación fue más fuerte en individuos con mayor predisposición genética a la demencia.
Valls-Pedret <i>et al.</i> (2015) ¹¹	Ensayo clínico aleatorizado	Sí	4 años	447 adultos mayores cognitivamente sanos (edad media 67 años) pertenecientes al estudio PREDIMED	Los participantes fueron asignados aleatoriamente a una dieta mediterránea suplementada con aceite de oliva, una dieta mediterránea suplementada con frutos secos o una dieta control baja en grasas. La función cognitiva se evaluó al inicio y al final del estudio mediante una batería de pruebas	Los grupos que siguieron una dieta mediterránea suplementada con aceite de oliva o frutos secos mostraron una mejor preservación de la función cognitiva en comparación con el grupo control. Los beneficios fueron más pronunciados en la memoria y las funciones ejecutivas.
Wickman <i>et al.</i> (2021) ¹⁴	Revisión sistemática	NA	NA	Pacientes con insuficiencia cardíaca analizados en estudios previos sobre la dieta DASH	Se revisaron estudios sobre la dieta DASH y su impacto en la insuficiencia cardíaca, con énfasis en enfoques de nutrición personalizada y biomarcadores nutricionales.	La dieta DASH ha mostrado beneficios en el manejo de la insuficiencia cardíaca, incluyendo mejoras en la presión arterial, función endotelial y reducción del estrés oxidativo. Se destaca la importancia de enfoques de precisión nutricional para optimizar los resultados en pacientes con insuficiencia cardíaca.
Morris <i>et al.</i> (2015) ¹⁵	Cohorte prospectiva	No	4 años	Personas mayores con riesgo de EA	Cuestionarios dietéticos y pruebas cognitivas	Dieta MIND redujo el riesgo de Alzheimer (HR=0.47, IC95%: 0.34-0.65)

TABLA I (CONT.). DESCRIPCIÓN DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Autor (año)	Diseño del estudio	Multicéntrico	Duración	Población	Métodos de evaluación	Resultados principales
Titova <i>et al.</i> (2013) ¹⁶	Estudio observacional longitudinal	No	5 años	194 adultos mayores cognitivamente sanos (70 años al inicio del estudio)	Dieta evaluada mediante registro alimentario de 7 días a los 70 años, función cognitiva medida con la prueba Seven Minute Screening (7MS) y volúmenes cerebrales determinados por resonancia magnética volumétrica a los 75 años	Menor ingesta de carne se asoció con mejor rendimiento en la prueba 7MS ($p=0.001$) y mayor volumen cerebral total ($p=0.03$). La adherencia total a la dieta mediterránea explicó menos varianza en la función cognitiva y volúmenes cerebrales que el consumo individual de carne
Samuelsson <i>et al.</i> (2021) ¹⁷	Estudio transversal dentro de una cohorte poblacional	No	Evaluación única a los 70 años de edad de los participantes	269 adultos de 70 años, libres de demencia, seleccionados de manera representativa de la población general	La ingesta dietética se evaluó mediante historia dietética, se identificaron patrones dietéticos a través de análisis de componentes principales, y se midieron biomarcadores en el líquido cefalorraquídeo (LCR)	Una mayor adherencia a un patrón dietético de estilo occidental se asoció con niveles patológicos de t-tau en el LCR (OR 1,43; IC 95%: 1,02-2,01) y con mayor probabilidad de Alzheimer preclínico definido por biomarcadores (OR 1,79; IC 95%: 1,03-3,10)
Arjmand <i>et al.</i> (2022) ¹⁸	Ensayo clínico aleatorizado	No	12 semanas	82 adultos con sobrepeso u obesidad, de 20 a 60 años	Los participantes fueron asignados aleatoriamente a un grupo de intervención con la dieta MIND o a un grupo control con una dieta habitual. Se evaluó el rendimiento cognitivo mediante pruebas neuropsicológicas y se analizó la conectividad funcional cerebral utilizando imágenes de resonancia magnética funcional en estado de reposo	El grupo que siguió la dieta MIND mostró mejoras significativas en la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva en comparación con el grupo control. Además, se observaron cambios positivos en la conectividad funcional cerebral en regiones asociadas con la cognición
Nishi <i>et al.</i> (2021) ¹⁹	Cohorte prospectiva	Sí	2 años	6647 adultos mayores (55-75 años) con sobrepeso u obesidad y alto riesgo de enfermedad cardiovascular	La adherencia a las dietas Mediterránea, DASH y MIND se evaluó mediante un cuestionario de frecuencia alimentaria validado al inicio del estudio. El rendimiento cognitivo se midió al inicio y después de 2 años utilizando una batería de pruebas neuropsicológicas que evaluaban diferentes dominios.	Una mayor adherencia a la dieta Mediterránea se asoció con mejoras en el Mini-Mental State Examination (MMSE) y en las pruebas de función ejecutiva (Trail Making Test partes A y B). No se observaron asociaciones significativas entre las dietas DASH o MIND y los cambios en el rendimiento cognitivo durante el período de estudio.

TABLA I (CONT.). DESCRIPCIÓN DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Autor (año)	Diseño del estudio	Multicéntrico	Duración	Población	Métodos de evaluación	Resultados principales
Liu <i>et al.</i> (2021) ²⁰	Ensayo clínico aleatorizado	Sí	3 años	604 adultos mayores (65-84 años) con riesgo de Alzheimer	La adherencia a la dieta MIND se evaluó mediante un cuestionario de frecuencia alimentaria validado. La función cognitiva se midió al inicio y cada año mediante una batería de pruebas neuropsicológicas que evaluaban diferentes dominios cognitivos	El estudio busca evaluar el impacto de la dieta MIND en la tasa de deterioro cognitivo en adultos mayores, proporcionando datos sobre la relación entre nutrición y salud cerebral
Dominguez <i>et al.</i> (2024) ²¹	Casos y controles	No	Evaluación transversal	73 pacientes con enfermedad de Alzheimer leve a moderada, emparejados por edad y sexo con 73 controles cognitivamente sanos	La adherencia a la dieta mediterránea se evaluó mediante un cuestionario de frecuencia alimentaria. La actividad física se midió utilizando el International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). Se realizaron evaluaciones neuropsicológicas para determinar el estado cognitivo de los participantes	Los pacientes con Alzheimer mostraron una menor adherencia a la dieta mediterránea y niveles más bajos de actividad física en comparación con los controles. Una mayor adherencia a la dieta mediterránea y una actividad física regular se asociaron con un mejor rendimiento cognitivo y una menor progresión de la enfermedad
Liu <i>et al.</i> (2021) ²²	Estudio prospectivo de cohorte y meta-análisis	No	6,94 años	306.489 participantes en el estudio prospectivo; 140.617 individuos en el meta-análisis	La calidad de la dieta se evaluó mediante cuestionarios de frecuencia alimentaria al inicio del estudio. Se identificaron casos incidentes de enfermedad de Parkinson durante el seguimiento. En el meta-análisis, se incluyeron estudios que evaluaban la relación entre la calidad de la dieta y el riesgo de Parkinson	Una mayor calidad de la dieta se asoció con un menor riesgo de desarrollar enfermedad de Parkinson. En el estudio prospectivo, el hazard ratio ajustado para el tercil más alto versus el más bajo de calidad dietética fue de 0,39 (IC 95%: 0,17-0,89; p-trend = 0,02). El meta-análisis mostró que una alta adherencia a una dieta de calidad se asociaba con una reducción del 36% en el riesgo de Parkinson (riesgo relativo agrupado = 0,64; IC 95%: 0,49-0,83)
Barnes <i>et al.</i> (2019) ²³	Cohorte prospectiva	No	12 años	Participantes del Chicago Health and Aging Project, mayores de 65 años al inicio del estudio	La adherencia a la dieta mediterránea se evaluó mediante un cuestionario de frecuencia alimentaria validado. Se midió la función cognitiva cada 3 años utilizando una batería de pruebas neuropsicológicas estandarizadas. La incidencia de demencia se determinó mediante evaluaciones clínicas y registros médicos	Una mayor adherencia a la dieta mediterránea se asoció con un menor declive cognitivo global y una reducción del riesgo de desarrollar demencia (HR 0,78; IC 95%: 0,64-0,96). La asociación fue más pronunciada en individuos sin antecedentes de enfermedades cardiovasculares

TABLA I (CONT.). DESCRIPCIÓN DE LOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

Autor (año)	Diseño del estudio	Multicéntrico	Duración	Población	Métodos de evaluación	Resultados principales
Moustafa <i>et al.</i> (2022) ²⁴	Cohorte prospectivo	Sí	7 años	6321 adultos hispanos o latinos de 45 años o más, participantes del Hispanic Community Health Study / Study of Latinos	La adherencia a la dieta mediterránea se evaluó mediante un cuestionario de frecuencia alimentaria validado. La función cognitiva se midió al inicio y durante el seguimiento mediante una batería de pruebas neuropsicológicas que incluían la prueba de símbolos y dígitos, la fluidez verbal y el test de Stroop	Una mayor adherencia a la dieta mediterránea se asoció con un menor deterioro cognitivo global en el tiempo. Los participantes en el tercil más alto de adherencia mostraron tasas más lentas de disminución en la función ejecutiva y memoria en comparación con aquellos con menor adherencia
Knight <i>et al.</i> (2015) ²⁵	Ensayo clínico aleatorizado	No	6 meses	152 adultos mayores sanos (edad ≥ 65 años)	Los participantes fueron asignados aleatoriamente a seguir una dieta mediterránea o su dieta habitual durante 6 meses. Se evaluó la función cognitiva y el bienestar psicológico al inicio y al final del estudio mediante pruebas neuropsicológicas y cuestionarios de calidad de vida	El grupo que siguió la dieta mediterránea mostró mejoras en la memoria de trabajo y la función ejecutiva en comparación con el grupo control. También se observaron mejoras en el bienestar psicológico, particularmente en el estado de ánimo y la vitalidad
Smith <i>et al.</i> (2010) ²⁶	Ensayo clínico aleatorizado	No	4 meses	124 adultos con sobrepeso / obesidad e hipertensión	Pruebas neurocognitivas, mediciones de presión arterial, evaluaciones de aptitud aeróbica	Dieta DASH con ejercicio aeróbico y restricción calórica mejoró función ejecutiva, memoria y velocidad psicomotora
Martínez-Lapiscina <i>et al.</i> (2013) ²⁷	Ensayo clínico aleatorizado	Sí	6,5 años	522 participantes mayores de 55 años con alto riesgo cardiovascular, sin deterioro cognitivo al inicio del estudio	Los participantes fueron asignados a una dieta mediterránea suplementada con aceite de oliva, una dieta mediterránea suplementada con frutos secos o una dieta control baja en grasas. Se evaluó la función cognitiva al inicio y durante el seguimiento mediante una batería de pruebas neuropsicológicas	Los participantes en los grupos de dieta mediterránea mostraron mejoras en la memoria y la función ejecutiva en comparación con el grupo control. La dieta mediterránea suplementada con aceite de oliva tuvo el mayor impacto positivo en la cognición

NA: No Aplica.

Diseño y calidad de los estudios

Los estudios incluidos en la tabla se agrupan en cinco categorías metodológicas principales, lo que permite evaluar la relación entre los patrones dietéticos y la cognición desde diferentes enfoques:

- Cohortes prospectivas (6 estudios): Evaluaron la asociación entre la adherencia a las dietas MIND, Mediterránea y DASH y el deterioro cognitivo en personas mayores. Este diseño permite analizar la evolución de la cognición a lo largo del tiempo y establecer relaciones de causalidad más sólidas.
- Ensayos clínicos aleatorizados (6 estudios): Representan la evidencia más robusta, ya que investigan de forma controlada los efectos de la intervención dietética sobre la cognición en poblaciones con y sin deterioro cognitivo.
- Meta-análisis (1 estudio): Integró datos de múltiples investigaciones, proporcionando un análisis consolidado del impacto de las dietas en la salud cerebral, reforzando la validez de los hallazgos previos.
- Estudios observacionales y longitudinales (4 estudios): Evaluaron los efectos de la dieta en la memoria y función ejecutiva en diferentes poblaciones de adultos mayores, incluyendo individuos con riesgo genético y enfermedades neurodegenerativas.
- Revisión sistemática (1 estudio): Exploró el impacto de la dieta DASH en la insuficiencia cardíaca y su posible relación con la cognición.
- Además, se identificaron tres estudios multicéntricos, lo que refuerza la validez externa de los hallazgos al incluir muestras más diversas y representativas.

Duración del seguimiento y población

El período de seguimiento de los estudios varió entre 3 y 15,6 años, con una mediana de 6,5 años, lo que permitió evaluar cambios cognitivos a mediano y largo plazo.

- La mayoría de los estudios incluyeron personas mayores con riesgo de deterioro cognitivo.
- Algunos estudios se enfocaron en poblaciones específicas, como pacientes con enfermedad de Alzheimer (EA), DCL e hipertensión arterial.

- Varios ensayos clínicos analizaron el impacto de la dieta en personas mayores sin deterioro cognitivo inicial, proporcionando evidencia sobre su papel en la prevención primaria de enfermedades neurodegenerativas.

Métodos de evaluación y resultados principales

Los estudios utilizaron herramientas estandarizadas para medir la función cognitiva, incluyendo:

- Pruebas neuropsicológicas para evaluar memoria, atención y función ejecutiva.
- Biomarcadores asociados a neurodegeneración y salud cardiovascular.
- Encuestas dietéticas para determinar la adherencia a cada patrón alimentario.
- Resonancias magnéticas cerebrales, en algunos estudios, para evaluar cambios estructurales en el cerebro.

Hallazgos claves:

- Dieta MIND: Mayor efectividad en la reducción del riesgo de Alzheimer:
 - Morris *et al.* (2015) encontró que la dieta MIND redujo el riesgo de Alzheimer en 53% (HR = 0,47, IC95%: 0,34-0,65).
 - Nishi *et al.* (2021) concluyó que la dieta MIND proporciona mayor protección frente al deterioro cognitivo, aunque la Mediterránea y DASH también presentan beneficios.
 - Arjmand *et al.* (2022) mostró mejoras en memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva tras 12 semanas de dieta MIND.
- Dieta Mediterránea: Beneficio en cognición y reducción del riesgo de Alzheimer:
 - Scarmeas *et al.* (2006) mostró una reducción del riesgo de Alzheimer (HR = 0,67, IC95%: 0,48-0,94) con alta adherencia a la dieta Mediterránea.
 - Valls-Pedret *et al.* (2015) demostró que la dieta Mediterránea con aceite de oliva o frutos secos mejoró la función cognitiva en adultos con alto riesgo cardiovascular.
 - Martínez-Lapiscina *et al.* (2013) reportó una reducción del riesgo de deterioro cognitivo (HR=0,74, IC95%: 0,59-0,92) en adultos mayores con alto riesgo.

- Moustafa *et al.* (2022) encontró que en adultos hispanos una mayor adherencia a la dieta Mediterránea se asoció con un menor deterioro cognitivo global.
- Dieta DASH: Reducción del deterioro cognitivo y mejor salud cardiovascular:
 - Wickman *et al.* (2021) destacó la importancia de la dieta DASH en la insuficiencia cardíaca, lo que puede impactar indirectamente en la cognición.
 - Smith *et al.* (2010) concluyó que la combinación de DASH y ejercicio aeróbico mejoró la función ejecutiva y velocidad psicomotora.
 - Titova *et al.* (2013) observó que un menor consumo de carne dentro de un patrón dietético mediterráneo estaba asociado con un mejor rendimiento cognitivo y mayor volumen cerebral total.
- Efecto combinado de dieta y ejercicio:
 - Liu *et al.* (2021) consolidó evidencia en su meta-análisis, concluyendo que la combinación de dieta saludable y actividad física potencia los efectos en la cognición.
 - Samuelsson *et al.* (2021) encontró que un patrón dietético occidental se asociaba con mayores niveles de t-tau en LCR y con mayor probabilidad de Alzheimer preclínico definido por biomarcadores.

Evaluación del riesgo de sesgo

La **tabla 2** presenta la evaluación del riesgo de sesgo de los 17 estudios incluidos, realizada utilizando la herramienta RoB para ensayos clínicos y NOS para estudios observacionales. En ella se evalúan aspectos como la generación de secuencias aleatorias, ocultación de asignación, sesgo, manejo de datos incompletos y la presencia de otros sesgos. Esto proporciona una visión detallada de la calidad metodológica de los estudios y sus posibles limitaciones. Los principales resultados fueron.

Generación de secuencia aleatoria y ocultación de asignación:

- Estos aspectos fueron evaluados únicamente en los ensayos clínicos aleatorizados (n = 6).
- Todos los ensayos clínicos reportaron una baja posibilidad de sesgo en la aleatorización y ocultación de asignación, asegurando la validez interna de los resultados.

- Esto indica un adecuado control de la aleatorización, minimizando la influencia de factores externos en la asignación de los participantes a los grupos de intervención.

Sesgo de detección:

- Se observó bajo riesgo de sesgo en ensayos clínicos aleatorizados, ya que aplicaron pruebas neuropsicológicas estandarizadas y biomarcadores para evaluar los resultados.
- En estudios observacionales y retrospectivos, el sesgo de detección fue moderado, principalmente debido a:
 - Dependencia de datos autorreportados en algunos estudios.
 - Falta de enmascaramiento en la evaluación de resultados en estudios de cohorte y observacionales.

Manejo de datos incompletos:

- Los ensayos clínicos aleatorizados implementaron estrategias como análisis por intención de tratar, minimizando el impacto de los datos perdidos.
- En los estudios observacionales, el riesgo fue moderado a alto, debido a:
 - Pérdida de seguimiento de participantes.
 - Falta de estrategias sistemáticas para manejar los datos faltantes.

Otros sesgos:

- Se identificó riesgo moderado a alto en estudios observacionales y retrospectivos, principalmente debido a:
 - Sesgo de selección, ya que los participantes no fueron asignados aleatoriamente.
 - Factores de confusión no controlados, como el nivel socioeconómico, antecedentes médicos y otros hábitos de vida.
- En ensayos clínicos y metaanálisis, el riesgo de sesgo fue bajo, lo que refuerza la confiabilidad de sus resultados.

>> Discusión

La creciente prevalencia de enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer y el Parkinson, ha resaltado la importancia de identificar intervenciones eficaces para prevenir o ralentizar su

TABLA II. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE SESGO

Autor(es) y año	Generación de secuencia aleatoria	Ocultación de asignación	Sesgo de detección	Manejo de datos incompletos	Otros sesgos
Scarmeas <i>et al.</i> (2006) ⁷	NA	NA	Medio	Medio	Medio
De Crom <i>et al.</i> (2022) ⁸	NA	NA	Medio	Alto	Medio
Valls-Pedret <i>et al.</i> (2015) ¹¹	Baja	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
Wickman <i>et al.</i> (2021) ¹⁴	NA	NA	NA	NA	NA
Morris <i>et al.</i> (2015) ¹⁵	NA	NA	Bajo	Bajo	Medio
Titova <i>et al.</i> (2013) ¹⁶	NA	NA	Medio	Medio	Medio
Samuelsson <i>et al.</i> (2021) ¹⁷	NA	NA	Medio	Medio	Medio
Arjmand <i>et al.</i> (2022) ¹⁸	Baja	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
Nishi <i>et al.</i> (2021) ¹⁹	NA	NA	Medio	Medio	Medio
Liu <i>et al.</i> (2021) ²⁰	Baja	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
Dominguez <i>et al.</i> (2024) ²¹	NA	NA	Medio	Medio	Medio
Liu <i>et al.</i> (2021) ²²	NA	NA	Bajo	Bajo	Bajo
Barnes <i>et al.</i> (2019) ²³	NA	NA	Medio	Medio	Medio
Moustafa <i>et al.</i> (2022) ²⁴	NA	NA	Medio	Medio	Medio
Knight <i>et al.</i> (2015) ²⁵	Baja	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
Smith <i>et al.</i> (2010) ²⁶	Baja	Baja	Bajo	Bajo	Bajo
Martínez-Lapiscina <i>et al.</i> (2013) ²⁷	Baja	Baja	Bajo	Bajo	Bajo

NA: no aplica.

progresión. En este sentido, la relación entre los patrones dietéticos y la salud cognitiva ha ganado atención significativa en la literatura científica. Esta revisión sistemática evaluó los efectos de tres patrones dietéticos, la dieta MIND, la dieta Mediterránea y la dieta DASH, en la prevención del deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas.

Los resultados obtenidos muestran que la dieta MIND, una combinación de elementos de la dieta Mediterránea y DASH, es particularmente prometedora en la prevención del Alzheimer y otros trastornos cognitivos. Varios estudios han encontrado que la adherencia a la dieta MIND se asocia con una menor incidencia de Alzheimer y una progresión más lenta de la enfermedad^{8,9}. La dieta mediterránea también ha mostrado beneficios, aunque con un impacto menos consistente en comparación con la MIND. La literatura sugiere que la dieta Mediterránea reduce el riesgo de

Alzheimer y mejora la función cognitiva en personas mayores^{12,16}.

El metaanálisis realizado por Liu *et al.* (2021) destaca la importancia de un enfoque dietético integral en combinación con el ejercicio. Este enfoque multidisciplinario, que también se observó en estudios como el de Dominguez *et al.* (2024), mostró mejoras significativas en la movilidad y la cognición en pacientes con Alzheimer. Este hallazgo refuerza la necesidad de implementar estrategias que no solo aborden la dieta, sino también el ejercicio y otros factores de estilo de vida para maximizar los beneficios en la salud cerebral.

En cuanto a la dieta DASH, estudios como el de Wickman *et al.* (2021) y Nishi *et al.* (2021) han mostrado que, aunque no tiene un impacto tan fuerte como la dieta MIND en la cognición, sus efectos sobre la salud cardiovascular también contribuyen indirectamente a la preservación

cognitiva. La dieta DASH se ha asociado con una reducción del riesgo cardiovascular, lo cual es crucial dado que las enfermedades cardiovasculares son factores de riesgo conocidos para el deterioro cognitivo y la demencia.

Sin embargo, a pesar de estos resultados positivos, varios estudios destacan limitaciones que deben ser consideradas. En particular, aunque muchos de los estudios incluidos en esta revisión presentan un diseño longitudinal que permite evaluar cambios en el tiempo, algunos estudios han señalado la necesidad de mejorar la calidad de la evidencia en relación con los patrones dietéticos y la salud cognitiva. Por ejemplo, el metaanálisis de Liu *et al.* (2021) identificó variabilidad en la metodología de los estudios incluidos, lo que puede influir en la solidez de los hallazgos. Si bien se encontró una asociación positiva entre la adherencia a la dieta Mediterránea y la función cognitiva, se evidenció que la heterogeneidad en los métodos de evaluación y las diferencias en las poblaciones estudiadas pueden afectar la generalización de los resultados. Además, aunque se observó un buen control de los factores de confusión en la mayoría de los estudios, algunos, como el de de Crom *et al.* (2022) y Moustafa *et al.* (2022), sugieren que aún es necesario un control más riguroso de variables relacionadas con la genética, la actividad física y otros factores socioeconómicos, los cuales pueden influir en la cognición.

Además, algunos estudios incluidos, aunque de alta calidad metodológica, como los ensayos clínicos aleatorizados de Arjmand *et al.* (2022) y Knight *et al.* (2015), mostraron limitaciones relacionadas con el tamaño de muestra o la duración del seguimiento. Estas limitaciones pueden haber influido en la capacidad para observar efectos a largo plazo y generalizar los resultados a una población más amplia. Por ejemplo, el estudio de Samuelsson *et al.* (2021), aunque bien diseñado, tiene una muestra relativamente pequeña y una evaluación transversal, lo que limita la robustez de los resultados.

Además, la heterogeneidad de los estudios en términos de medición de la dieta, seguimiento y tipos de población estudiada, aunque esperada en una revisión tan amplia, puede haber introducido un sesgo de variabilidad en los resultados. Estudios como el de Morris *et al.* (2015) destacan la dificultad de medir de manera uniforme los

diferentes componentes dietéticos a lo largo de múltiples estudios, lo que puede afectar la comparación directa de los resultados.

A pesar de estos desafíos, los hallazgos sugieren que los patrones dietéticos como la dieta MIND pueden jugar un papel crucial en la prevención del deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas. La dieta Mediterránea y DASH también demuestran efectos beneficiosos, especialmente cuando se combinan con ejercicio físico y otros factores de estilo de vida saludable. Esto apoya la idea de un enfoque multidisciplinario para la gestión de la salud cerebral, que debe incluir no solo intervenciones dietéticas, sino también la promoción de la actividad física, la mejora de la salud cardiovascular y el manejo de factores de riesgo. En este sentido, el estudio longitudinal de Nishi *et al.* (2021), realizado en una cohorte de adultos mayores en España, respalda estos hallazgos al demostrar que una mayor adherencia a la dieta MIND se asocia con una ralentización significativa del deterioro cognitivo en un período de 2 años. Además, el estudio refuerza la importancia de un enfoque integral al observar que la dieta Mediterránea también aporta beneficios, aunque en menor magnitud, y la dieta DASH contribuye a la preservación cognitiva a través de la mejora de la salud cardiovascular. La dieta DASH se ha asociado con una reducción del riesgo cardiovascular, lo cual es crucial dado que las enfermedades cardiovasculares son factores de riesgo conocidos para el deterioro cognitivo y la demencia²⁸. Estos hallazgos consolidan la evidencia existente y sugieren que la combinación de patrones dietéticos saludables con otras estrategias de prevención podría optimizar la protección contra el deterioro cognitivo en la población envejecida.

Esta revisión destaca la relevancia de los patrones dietéticos como intervenciones potenciales para la prevención y tratamiento del deterioro cognitivo. Sin embargo, se requiere más investigación, especialmente ensayos clínicos a largo plazo con muestras más grandes y un control más riguroso de los factores de confusión, para establecer de manera más firme las relaciones causales entre dieta y salud cognitiva. Además, futuras investigaciones deberían explorar interacciones entre los diferentes componentes dietéticos y otros factores de estilo de vida, con el fin de proporcionar recomendaciones prácticas

más específicas y efectivas para la prevención de enfermedades neurodegenerativas.

En este contexto, estudios recientes como el de Coelho-Júnior *et al.* (2021) han evidenciado que la adherencia a la dieta Mediterránea se asocia con mejoras en la función cognitiva y el rendimiento físico en adultos mayores, reforzando la idea de un enfoque combinado de nutrición y actividad física. Además, el ensayo clínico aleatorizado de Hoscheidt *et al.* (2022) demostró que una mayor adherencia a la dieta Mediterránea mejora biomarcadores asociados con el Alzheimer, incluyendo la perfusión cerebral y la función cognitiva en adultos de mediana edad. Por otro lado, investigaciones como la de Salazar y Pedrañez (2023) han analizado el impacto de la dieta Mediterránea en la microbiota intestinal y su papel en la modulación del sistema inmunológico, lo que podría representar un mecanismo adicional de protección contra el deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas.

>>CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática proporciona una evaluación integral de la evidencia existente sobre los efectos de los patrones dietéticos, como la dieta MIND, Mediterránea y DASH, en la prevención y manejo del deterioro cognitivo y las enfermedades neurodegenerativas, especialmente la EA y la EP. A través de la evaluación de estudios prospectivos, de cohorte, transversales, y ensayos clínicos aleatorizados, se observa que los patrones dietéticos saludables tienen un impacto significativo en la salud cognitiva, aunque con diferentes magnitudes de efecto y evidencia.

La dieta MIND, que combina elementos de las dietas Mediterránea y DASH, emerge como una de las más prometedoras en la prevención del deterioro cognitivo y la reducción del riesgo de Alzheimer. Varios estudios han demostrado que una mayor adherencia a este patrón dietético está asociada con una menor incidencia de demencia y una progresión más lenta de la enfermedad^{8,9}. En términos de la dieta Mediterránea, los hallazgos también son positivos, con una reducción del riesgo de Alzheimer y mejoras en la función cognitiva, aunque la evidencia es menos robusta en comparación con la dieta MIND. La dieta DASH, a pesar de tener efectos moderados en la cognición, contribuye indirectamente a la preservación

de la salud cerebral mediante la mejora de la salud cardiovascular, un factor clave para la prevención de enfermedades neurodegenerativas.

Aunque los resultados de esta revisión destacan la importancia de los patrones dietéticos, se identificaron varias limitaciones en los estudios incluidos. En particular, los estudios transversales y aquellos con un seguimiento limitado dificultan el establecimiento de relaciones causales definitivas entre la dieta y los resultados cognitivos. Además, algunos estudios presentaron heterogeneidad en las mediciones dietéticas y el control de factores de confusión, lo que sugiere la necesidad de un enfoque más uniforme en la futura investigación.

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos sugieren que una intervención dietética integral, combinada con otros factores de estilo de vida como el ejercicio físico, podría tener un impacto significativo en la prevención y manejo de enfermedades neurodegenerativas. Es crucial seguir investigando estos patrones dietéticos con estudios más largos, muestras más grandes y un control más riguroso de factores confundentes para proporcionar evidencia más robusta que respalde su aplicación clínica.

En resumen, la dieta MIND y otras estrategias dietéticas, como la Mediterránea y DASH, presentan un gran potencial para mejorar la salud cognitiva y reducir el riesgo de Alzheimer y otras demencias. Sin embargo, se requieren más estudios controlados a largo plazo para confirmar estos efectos y establecer pautas claras para su implementación en la prevención y tratamiento de enfermedades neurodegenerativas.

Contribución de autoría

Todos/as los/as autores/as participaron en el diseño de la idea, redacción del manuscrito y aprobaron las versiones preliminares y final del manuscrito.

Financiación

Los autores/as declaran que no ha existido financiación para realizar este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

>> BIBLIOGRAFÍA

1. Morgan DG, Mielke MM. Knowledge gaps in Alzheimer's disease immune biomarker research. *Alzheimer's Dement*. 2021; 17: 2030–2042. DOI: 10.1002/alz.12342
2. Bennett DA, Schneider JA, Buchman AS, Barnes LL, Boyle PA, Wilson RS. Overview and findings from the Rush Memory and Aging Project. *Curr Alzheimer Res*. 2012; 9(6): 646–663. DOI: 10.2174/156720512801322663.
3. Feigin VL, Vos T, Nichols E, Owolabi MO, Carroll WM, Dichgans M, et al. The global burden of neurological disorders: translating evidence into policy. *Lancet Neurol*. 2020; 19(3): 255–265. DOI: 10.1016/S1474-4422(19)30411-9.
4. World Health Organization (WHO). World report on aging and health. Geneva: WHO; 2023. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565042>
5. Kim D, Ko Y, Jung A. Longitudinal effects of exercise according to the World Health Organization guidelines on cognitive function in middle-aged and older adults. *Front Public Health*. 2022; 10: 1009775. DOI: 10.3389/fpubh.2022.1009775.
6. Popa-Wagner A, Dumitrascu DI, Capitanescu B, Petcu EB, Surugiu R, Fang WH, et al. Dietary habits, lifestyle factors and neurodegenerative diseases. *Neural Regen Res*. 2020; 15(3): 394–400. DOI: 10.4103/1673-5374.266045.
7. Scarmeas N, Stern Y, Tang MX, Mayeux R, Luchsinger JA. Mediterranean diet and risk for Alzheimer's disease. *Ann Neurol*. 2006; 59(6): 912–921. DOI: 10.1002/ana.20854.
8. de Crom TOE, Mooldijk SS, Ikram MK, Ikram MA, Voortman T. MIND diet and the risk of dementia: a population-based study. *Alzheimers Res Ther*. 2022 12; 14(1): 8. DOI: 10.1186/s13195-022-00957-1.
9. van den Brink AC, Brouwer-Brolsma EM, Berendsen AAM, van de Rest O. The Mediterranean, Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH), and Mediterranean-DASH Intervention for Neurodegenerative Delay (MIND) Diets are associated with less cognitive decline and a lower risk of Alzheimer's Disease-A Review. *Adv Nutr*. 2019; 10(6): 1040–1065. DOI: 10.1093/advances/nmz054.
10. Chen H, Dhana K, Huang Y, Huang L, Tao Y, Liu X, et al. Association of the Mediterranean Dietary Approaches to Stop Hypertension Intervention for Neurodegenerative Delay (MIND) Diet With the Risk of Dementia. *JAMA Psychiatry*. 2023; 80(6): 630–638. DOI: 10.1001/jamapsychiatry.2023.0800.
11. Valls-Pedret C, Sala-Vila A, Serra-Mir M, Corella D, de la Torre R, Martínez-González MÁ, et al. Mediterranean Diet and Age-Related Cognitive Decline: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Intern Med*. 2015; 175(7): 1094–1103. DOI: 10.1001/jamainternmed.2015.1668.
12. Papadaki A, Nolen-Doerr E, Mantzoros CS. The Effect of the Mediterranean Diet on Metabolic Health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials in Adults. *Nutrients*. 2020; 12(11): 3342. DOI: 10.3390/nu12113342.
13. Lari A, Sohoulí MH, Fatahi S, Cerqueira HS, Santos HO, Pourrajab B, et al. The effects of the Dietary Approaches to Stop Hypertension (DASH) diet on metabolic risk factors in patients with chronic disease: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2021; 31(10): 2766–2778. DOI: 10.1016/j.numecd.2021.05.030.
14. Wickman BE, Enkhmaa B, Ridberg R, Romero E, Cadeiras M, Meyers F, et al. Dietary Management of Heart Failure: DASH Diet and Precision Nutrition Perspectives. *Nutrients*. 2021; 13(12): 4424. DOI: 10.3390/nu13124424.
15. Morris MC, Tangney CC, Wang Y, Sacks FM, Barnes LL, Bennett DA, et al. MIND diet slows cognitive decline with aging. *Alzheimers Dement*. 2015; 11(9): 1015–1022. DOI: 10.1016/j.jalz.2015.04.011.
16. Titova OE, Ax E, Brooks SJ, Sjögren P, Cederholm T, Kilander L, et al. Mediterranean diet habits in older individuals: associations with cognitive functioning and brain volumes. *Experimental Gerontology*. 2013; 48(12): 1443–1448. DOI: 10.1016/j.exger.2013.10.002.
17. Samuelsson J, Kern S, Zetterberg H, Blennow K, Rothenberg E, Wallengren O, et al. A Western-style dietary pattern is associated with cerebrospinal fluid biomarker levels for preclinical Alzheimer's disease-A population-based cross-sectional study among 70-year-olds. *Alzheimers Dement (N Y)*. 2021; 7(1): e12183. DOI: 10.1002/trc2.12183.
18. Arjmand G, Abbas-Zadeh M, Eftekhari MH. Effect of MIND diet intervention on cognitive performance and brain structure in healthy obese women: a randomized controlled trial. *Sci Rep*. 2022; 12(1): 2871. DOI: 10.1038/s41598-021-04258-9.
19. Nishi SK, Babio N, Gómez-Martínez C, Martínez-González MÁ, Ros E, Corella D, et al. Mediterranean, DASH, and MIND Dietary Patterns and Cognitive Function: The 2-Year Longitudinal Changes in an Older Spanish Cohort. *Front Aging Neurosci*. 2021; 13: 782067. DOI: 10.3389/fnagi.2021.782067.
20. Liu X, Morris MC, Dhana K, Ventrelle J, Johnson K, Bishop L, et al. Mediterranean-DASH Intervention for Neurodegenerative Delay (MIND) study: Rationale, design and baseline characteristics of a randomized control trial of the MIND diet on cognitive decline. *Contemp Clin Trials*. 2021; 102: 106270. DOI: 10.1016/j.cct.2021.106270.
21. Dominguez LJ, Veronese N, Parisi A, Seminara F, Vernuccio L, Catanese G, et al. Mediterranean Diet and Lifestyle in Persons with Mild to Moderate Alzheimer's Disease. *Nutrients*. 2024; 16(19): 3421. <https://doi.org/10.3390/nu16193421>
22. Liu YH, Jensen GL, Na M, Mitchell DC, Wood GC, Still CD, et al. Diet Quality and Risk of Parkinson's Disease: A Prospective Study and Meta-Analysis. *J Parkinsons Dis*. 2021; 11(1): 337–347. DOI: 10.3233/JPD-202290.

23. Barnes LL, Dhana K, Liu X, Carey VJ, Ventrelle J, Johnson K, et al. Mediterranean diet, cognitive decline, and dementia: A 12-year follow-up study. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2019; 34(8): 1133-41. DOI:10.1002/gps.5297
24. Moustafa B, Trifan G, Isasi CR, Lipton RB, Sotres-Alvarez D, Cai J, et al. Association of Mediterranean Diet With Cognitive Decline Among Diverse Hispanic or Latino Adults From the Hispanic Community Health Study / Study of Latinos. *JAMA Netw Open*. 2022; 5(7): e2221982. doi:10.1001/jamanetworkopen.2022.21982
25. Knight A, Bryan J, Wilson C, Hodgson J, Murphy K. A randomised controlled intervention trial evaluating the efficacy of a Mediterranean dietary pattern on cognitive function and psychological wellbeing in healthy older adults: the Med-Ley study. *BMC Geriatr*. 2015; 15: 55. DOI: 10.1186/s12877-015-0054-8.
26. Smith PJ, Blumenthal JA, Babyak MA, Craighead L, Welsh-Bohmer KA, Browndyke JN, et al. Effects of the dietary approaches to stop hypertension diet, exercise, and caloric restriction on neurocognition in overweight adults with high blood pressure. *Hypertension*. 2010;55(6):1331-1338. doi:10.1161/HYPERTENSIONAHA.109.146795
27. Martínez-Lapiscina EH, Clavero P, Toledo E, Estruch R, Salas-Salvadó J, San Julián B, et al. Mediterranean diet improves cognition: the PREDIMED-NAVARRA randomised trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2013; 84(12): 1318-25. DOI: 10.1136/jnnp-2012-304792.
28. Lim GB. Hypertension: low sodium and DASH diet to lower blood pressure. *Nat Rev Cardiol*. 2018;15:68. DOI: 10.1038/nrcardio.2017.214
29. Coelho-Júnior HJ, Trichopoulou A, Panza F. Cross-sectional and longitudinal associations between adherence to Mediterranean diet with physical performance and cognitive function in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2021;70:101395. DOI: 10.1016/j.arr.2021.101395
30. Hoscheidt S, Sanderlin AH, Baker LD, Jung Y, Lockhart S, Kellar D, et al. Mediterranean and Western diet effects on Alzheimer's disease biomarkers, cerebral perfusion, and cognition in mid-life: A randomized trial. *Alzheimers Dement*. 2022; 18(3): 457-468. DOI: 10.1002/alz.12421.
31. Salazar P, Pedrañez, A. The Mediterranean diet as a healthy dietary model and its impact on the immune system and intestinal microbiota. *International Journal of Medical and Surgical Sciences*. 2023; 10(3): 1-20. DOI: 10.32457/ijmss.v10i3.2242

[r e v i s i ó n]

Nutrición parenteral intradiálisis: una actualización de la evidencia. Propuesta de protocolo clínico *Intradialysis Parenteral Nutrition: An Update on the Evidence. Proposal for a Clinical Protocol*

Irene Bretón Lesmes¹, Francisco Pita Gutiérrez², Carmen Aragón Valera³, Marta Motilla de la Cámara¹
y Rosa Romero Jiménez⁴

¹Unidad de Nutrición Clínica y Dietética, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón (IiSGM), Madrid. España. ²Unidad de Nutrición Clínica y Dietética, Complejo Hospitalario Universitario A Coruña. España. ³Servicio de Endocrinología y Nutrición, Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz, Madrid. España. ⁴Servicio de Farmacia Hospitalaria, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón (IiSGM), Madrid. España

Cómo citar este trabajo

Bretón Lesmes I, Pita Gutiérrez F, Aragón Valera C, Motilla de la Cámara M, Romero Jiménez R. Nutrición parenteral intradiálisis: una actualización de la evidencia. Propuesta de protocolo clínico. Nutr Clin Med 2024;18(3):137-150

Palabras clave

Nutrición parenteral intradiálítica, hemodiálisis, desnutrición.

>>RESUMEN

La enfermedad renal crónica condiciona un elevado riesgo de desnutrición, que se asocia con un aumento de la mortalidad y del riesgo de complicaciones. La nutrición parenteral intradiálítica (NPID) consiste en la administración de nutrientes por vía intravenosa durante la sesión de diálisis. Se trata de un tratamiento complejo, que se indica en los pacientes con desnutrición en los que otros tratamientos, como la adaptación dietética, los suplementos

nutricionales orales o la nutrición enteral por sonda, resultan insuficientes o no se pueden aplicar. La NPID ha mostrado un efecto beneficioso sobre el estado nutricional, si bien son necesarios más estudios sobre su efecto clínico a largo plazo, especialmente en comparación con otras modalidades de tratamiento nutricional. En este artículo de revisión se incluye una propuesta de protocolo sobre la NPID que puede facilitar la práctica clínica.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 137-150

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0002

Correspondencia

Irene Bretón Lesmes
Email: irenebreton@gmail.com

Obra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
Más información:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Key words

Intradialytic parenteral nutrition, hemodialysis, malnutrition.

<<ABSTRACT

Chronic kidney disease carries a high risk of malnutrition, which is associated with increased mortality and risk of complications. Intradialytic parenteral nutrition (IPN) consists of intravenous administration of nutrients during the dialysis session. It is a complex treatment indicated in patients with malnutrition in whom other treatments, such as dietary adaptation, oral nutritional supplements or enteral nutrition by tube, are insufficient or cannot be applied. IPN has shown a beneficial effect on nutritional status, although further studies on its long-term clinical effect are needed, especially in comparison with other nutritional treatment modalities. This review article includes a proposed protocol on IPN, which may facilitate clinical practice.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 137-150

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0002

>>INTRODUCCIÓN

Los pacientes con enfermedad renal crónica en hemodiálisis (HD) presentan un elevado riesgo nutricional debido a múltiples factores, lo que condiciona un aumento del riesgo de mortalidad y complicaciones. La evaluación y el tratamiento nutricional deben formar parte del manejo clínico de estos pacientes. La nutrición parenteral intradialítica (NPID) es una modalidad de tratamiento nutricional que consiste en administrar nutrientes por vía intravenosa durante la HD a través de la vía de retorno. Es un tratamiento complejo y no exento de complicaciones. En este artículo se ha realizado una revisión narrativa de la literatura especializada sobre las indicaciones de este tratamiento con la idea de proponer un protocolo de evaluación y seguimiento de los pacientes que lo precisan³.

>>DESNUTRICIÓN EN LOS PACIENTES CON ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA

La desnutrición es frecuente en los pacientes con enfermedad renal crónica. Su prevalencia depende fundamentalmente de la población evaluada y de los criterios que se utilizan para el diagnóstico: oscila entre el 28-48 % de los pacientes prediálisis y el 9-72 % de los pacientes con diálisis¹. La edad avanzada, el tiempo en diálisis y la presencia de otras patologías aumentan el riesgo de desnutrición^{2,3}.

Los factores etiológicos que favorecen la desnutrición en los pacientes con enfermedad renal crónica en HD dependen, como en otras condiciones clínicas, del descenso de la ingesta, la malabsor-

ción, así como del efecto de la propia enfermedad renal, de otras patologías y sus tratamientos⁴.

- La ingesta inadecuada es la causa más frecuente y más importante de desnutrición en los pacientes con enfermedad renal crónica. Puede deberse, a su vez, a restricciones dietéticas, muchas veces inadecuadamente prescritas, anorexia o alteraciones del gusto, entre otros factores. Se han descrito alteraciones en las vías metabólicas que regulan la ingesta y el balance energético, como la leptina⁵ o la ghrelina⁶. La inflamación, presente en mayor o menor grado en los pacientes en HD, condiciona también anorexia y descenso de la ingesta⁶. La depresión es una causa frecuente de descenso de la ingesta que puede pasar inadvertida⁷. Es necesario tener en cuenta los factores psicosociales o culturales, el efecto de las patologías concomitantes o complicaciones como infecciones u hospitalizaciones. La duración de las sesiones de HD y su horario también pueden dar lugar a un descenso de la ingesta⁸.
- Las alteraciones digestivas son muy frecuentes en los pacientes con enfermedad renal crónica en HD⁹, e incluyen trastornos en la motilidad gástrica y esofágica que condicionan náuseas y vómitos, enteropatía, sobrecrecimiento bacteriano e insuficiencia pancreática exocrina, entre otros. La isquemia mesentérica, aguda o crónica, es especialmente frecuente como manifestación clínica de la aterosclerosis, y puede pasar inadvertida en algunos casos como causa de desnutrición¹⁰. Otros problemas digestivos habituales en estos pacientes son la colitis pseudomembranosa o el sangrado digestivo.

- El tratamiento sustitutivo renal, con HD o diálisis peritoneal, puede condicionar, por sí mismo, un aumento del riesgo nutricional. En la HD se puede producir un aumento de las pérdidas de nutrientes esenciales, como aminoácidos (4-9 g por sesión), carnitina, vitaminas hidrosolubles y oligoelementos, aumento del catabolismo y de la susceptibilidad a las infecciones¹¹⁻¹³. En el caso de la diálisis peritoneal, la pérdida de proteínas es mayor, especialmente si se desarrolla una peritonitis y, aunque la pérdida de vitaminas hidrosolubles es menor que en el caso de la HD, se puede producir depleción de micronutrientes unidos a proteínas transportadoras¹⁴. Son comunes el balance energético positivo, que puede condicionar obesidad, y la sarcopenia¹⁵.
- Las alteraciones metabólicas y la inflamación en los pacientes en HD condicionan un aumento del riesgo de mortalidad y complicaciones. La respuesta inflamatoria favorece un aumento de los requerimientos, una respuesta neuroendocrina, un aumento de citocinas (interleucina [IL] 1, factor de necrosis tumoral,

IL-6) que producen un descenso de la ingesta y una limitación de la actividad voluntaria. Las alteraciones en el metabolismo intermedio incluyen un aumento de la producción endógena de glucosa, resistencia insulínica, aumento del catabolismo proteico muscular y descenso en la síntesis proteica¹¹.

La desnutrición en los pacientes con enfermedad renal crónica en HD aumenta el riesgo de mortalidad y de complicaciones, hospitalizaciones, infección, etc., empeora la calidad de vida y aumenta el coste sanitario¹⁶⁻²⁰.

>> VALORACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL

La evaluación del estado nutricional en los pacientes con enfermedad renal crónica en HD debe formar parte ineludible de la evaluación clínica, e incluirá datos sobre la ingesta, la antropometría, la composición corporal y la funcionalidad y datos analíticos (tabla I).

TABLA I. EVALUACIÓN DEL ESTADO NUTRICIONAL DE LOS PACIENTES EN HEMODIÁLISIS

Historia clínica	Exploración física
Historia clínica general, diagnósticos y tratamientos	Exploración física general
Evolución del peso corporal	Antropometría: peso, talla, circunferencia de la cintura y pantorrilla
Alteraciones del estado funcional	Valoración clínica de la masa grasa y de la masa muscular
Ingesta dietética	Edema
Apetito	Piel y faneras
Capacidad para masticar y deglutir	Evaluación bioquímica
Síntomas digestivos: náuseas, vómitos, dolor abdominal, diarrea	Albúmina, prealbúmina, marcadores inflamación
Alteración en los requerimientos	Estudio de micronutrientes
Utilización de suplementos nutricionales	Técnicas de composición corporal
Historia social	Impedancia bioeléctrica
Evaluación de la ingesta	Ecografía
Registro dietético	TC, RM
Recordatorio de 24 horas	DXA
Cuestionario de frecuencia de consumo	Estudios de capacidad funcional
Historia dietética	Dinamometría de mano
Patrón de consumo	Velocidad de la marcha

DXA: densitometría de absorción de rayos X; RM: resonancia magnética; TC: tomografía computarizada.

TABLA II. DIAGNÓSTICO DE DESNUTRICIÓN MEDIANTE LOS CRITERIOS GLIM

Criterios etiológicos	Criterios fenotípicos
1. Descenso de la ingesta o malabsorción	1. Pérdida de peso (en porcentaje)
– Ingesta inferior al 50 % de los requerimientos durante una semana	– > 5 % en los últimos 6 meses
– Cualquier reducción de la ingesta durante más de 2 semanas	– > 10 % en un período superior a 6 meses
– Presencia de una enfermedad que disminuya la digestión o la absorción de los nutrientes	2. Descenso del índice de masa corporal
2. Enfermedad aguda o crónica que condicione inflamación	– < 20 kg / m ² si < 70 años (< 18,5 en asiáticos)
	– < 22 kg / m ² si > 70 años (< 20 en asiáticos)
	3. Descenso de la masa muscular, evaluado mediante técnicas validadas

Nota: Para el diagnóstico de desnutrición se precisa al menos un criterio etiológico y al menos un criterio fenotípico.

El diagnóstico de desnutrición en los pacientes en HD se establece tradicionalmente utilizando unos criterios específicos, que incluyen parámetros relacionados con la inflamación, como el Malnutrition Inflammation Score²¹. La publicación reciente de los criterios GLIM²² (tabla II) para el diagnóstico de la desnutrición aconseja que se utilicen también en la enfermedad renal crónica. El diagnóstico de acuerdo con los criterios GLIM predice mortalidad y resultados clínicos en los pacientes en HD²³.

>>TRATAMIENTO MÉDICO NUTRICIONAL

El tratamiento nutricional en los pacientes con enfermedad renal crónica en HD deberá tener en cuenta el grado de desnutrición, los factores etiológicos y las características clínicas, personales y sociales. La figura 1 ilustra una propuesta de algoritmo de diagnóstico y tratamiento nutricional.

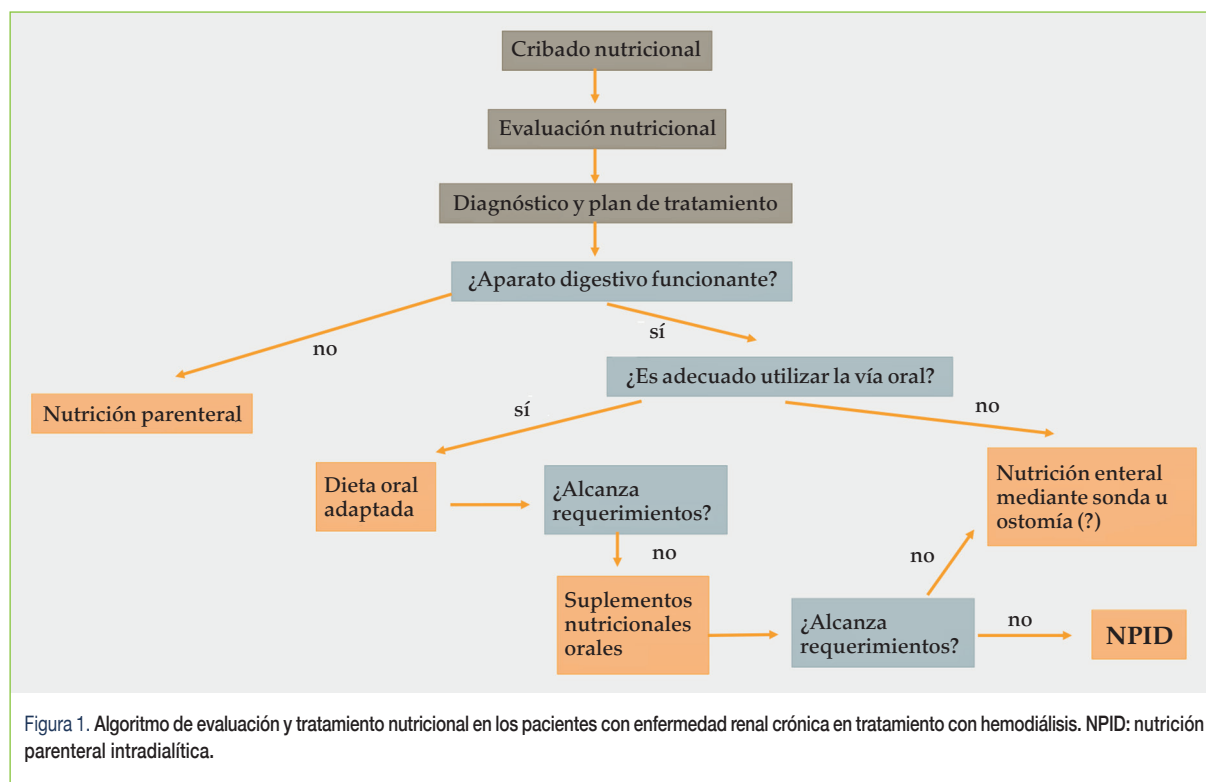
Los requerimientos nutricionales en los pacientes con enfermedad renal crónica en HD dependen de las características del paciente, la edad, la actividad física y la presencia de enfermedades intercurrentes. En general, se establecen unos requerimientos calóricos entre 25-35 kcal/kg/día y unos requerimientos proteicos entre 1,2-1,4 g/kg/día^{24,25}.

Dieta oral

La adaptación de la dieta oral debe ser el primer paso en el tratamiento de la desnutrición. Diversos estudios han constatado que la ingesta dietética en estos pacientes es muy limitada y, en general, no alcanza los requerimientos de energía, proteínas y otros nutrientes esenciales²⁵⁻²⁸. Se adaptará de acuerdo con las características clínicas del paciente y el riesgo de hiperpotasemia o hiperfosfatemia, entre otros factores. La prescripción y el seguimiento de la dieta oral en los pacientes con enfermedad renal crónica en diálisis requiere la participación de un equipo multidisciplinar. El personal de enfermería especializado en diálisis es particularmente relevante en la monitorización por su contacto estrecho con el paciente. El Aula Virtual de la Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición incluye un módulo específico dedicado a los aspectos nutricionales y a la dieta en la enfermedad renal crónica (<https://www.seen.es/aula-virtual-previa>).

Suplementos nutricionales orales

Los suplementos nutricionales orales se emplearán en los pacientes con desnutrición o en riesgo nutricional, cuando la ingesta oral basada en alimentos naturales no alcanza los requerimientos nutricionales. La elección de la fórmula se debe realizar atendiendo a las características clínicas y analíticas de los pacientes. Aunque no es obli-



gado emplear fórmulas diseñadas de manera específica para la enfermedad renal, la composición de estas fórmulas se adapta a los requerimientos y a las características de esta patología, en cuanto al aporte de macronutrientes, electrolitos, minerales y micronutrientes, evitando un aporte excesivo de volumen. La [tabla III](#) incluye la composición de las fórmulas de nutrición enteral comercializadas en España en octubre de 2024, específicas para los pacientes con enfermedad renal, con o sin diálisis.

Es necesario realizar una prescripción que contemple tanto los requerimientos nutricionales como la ingesta dietética basada en alimentos, y explicar con detalle cómo se debe realizar este tratamiento. Con frecuencia, los pacientes manifiestan mala tolerancia a las fórmulas muy concentradas, por lo que se aconseja que se administren lentamente entre las comidas principales.

La utilización de suplementos nutricionales orales mejora la funcionalidad y la situación nutricional en pacientes en HD²⁹. Algunos estudios han observado un descenso en la mortalidad y en la adherencia al tratamiento de reemplazo renal²⁷. Una revisión sistemática con metaanálisis, que incluye 22 estudios con 1187 pacientes en HD o

diálisis peritoneal, concluye que la utilización de suplementos nutricionales orales puede mejorar el estado nutricional, los niveles de albúmina plasmática, el índice de masa corporal y la fuerza muscular, sin efecto significativo sobre los niveles de potasio, fósforo o proteína C reactiva³⁰. La adherencia terapéutica es uno de los principales retos en este grupo de pacientes³¹.

Nutrición enteral y parenteral

La nutrición enteral por sonda u ostomía se considerará en los pacientes con función gastrointestinal mantenida y con imposibilidad de alimentación por vía oral (por ejemplo, con disfagia), o bien en aquellos que no alcancen los requerimientos con dieta basada en alimentos y suplementos nutricionales orales, tal como se indica en otras patologías²⁴.

La nutrición parenteral total se empleará en los pacientes en los que no es posible utilizar la vía digestiva, por contraindicación (por ejemplo, perforación, obstrucción intestinal, hemorragia digestiva aguda, isquemia intestinal aguda) o bien si existe imposibilidad de acceso enteral^{24-26,32}. En los pacientes con enfermedad renal crónica en HD, esta modalidad terapéutica con-

TABLA III. COMPOSICIÓN DE LAS PRINCIPALES FÓRMULAS DE NUTRICIÓN ENTERAL PARA ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA

Composición por 100 mL	Renilon® 4.0	Fresubin® Renal	Nepro® LP	Nepro® HP	Renilon® 7.5	Bi1 Renacare Dialysis®
Kcal	200	200	180	180	199	200
Proteínas (g)	4	3	4,52	8,10	7,30	8,97
Hidratos de carbono (g)	23,60	26,40	18,53	14,74	20	21
Azúcares (g)	5	8,17	NC	NC	4,80	1,20
Grasas (g)	10	8,90	9,70	9,77	10	8,70
Fibra (g)	0	1,20	1,26	1,26	0	2
Na (mg)	37,8	68	80	70	68	60
K (mg)	27,9	100	114	106	24	75
Osm (mOsm/L)	455	500	590	538	410	390
Presentación	125 mL	200 mL	220 mL	220 y 500 mL	125 mL	200 mL
Indicación	Prediálisis	Prediálisis	Prediálisis	Díálisis	Díálisis	Díálisis

diciona un mayor riesgo de efectos secundarios, como sobrecarga de volumen o alteraciones electrolíticas y minerales. Por otro lado, la nutrición parenteral total precisa habitualmente una vía central, lo que supone un problema adicional en un paciente que ya dispone de un acceso específico para la HD. La nutrición parenteral por vía periférica tiene un riesgo aún mayor de complicaciones, ya que la limitación de la osmolaridad de la mezcla obliga a infundir un volumen mayor.

>>NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIALÍTICA

La NPID consiste en la administración de fórmulas de nutrición parenteral durante las sesiones de HD, habitualmente utilizando la vía de retorno³³. En general, las sesiones de HD se llevan a cabo 3 días a la semana, con una duración aproximada de 3-4 horas. Se trata de un tratamiento complejo que requiere una indicación precisa y un seguimiento clínico estrecho³⁴⁻³⁷. La utilización de esta modalidad y acceso vascular simplifica la administración en los pacientes que

ya están en HD. La figura 2 ilustra el modo de administración de la NPID.

De acuerdo con las guías de la European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) sobre el tratamiento nutricional en el paciente hospitalizado con enfermedad renal, publicadas en 2021²⁴, la NPID se debe aplicar en los pacientes no críticos con enfermedad renal crónica y fallo renal en HD, con desnutrición o en riesgo de desnutrición, cuando la ingesta oral no resulta suficiente o adecuada, y si no responden o no toleran los suplementos nutricionales orales o la nutrición enteral.

La NPID ha demostrado ser eficaz y segura a la hora de mejorar parámetros nutricionales en pacientes con síndrome de desgaste energético proteico. En 2017 se publicó el ensayo clínico de Marsen *et al.*³⁸, que demostró mayor mejoría de la prealbúmina y de la desnutrición según la valoración global subjetiva tras 16 semanas de tratamiento con NPID. En un estudio realizado en Tailandia, se comparó la NPID con la intervención nutricional intensiva, encontrando, tras 3 meses de tratamiento, incremento de parámetros de laboratorio como la albúmina, el peso y la canti-

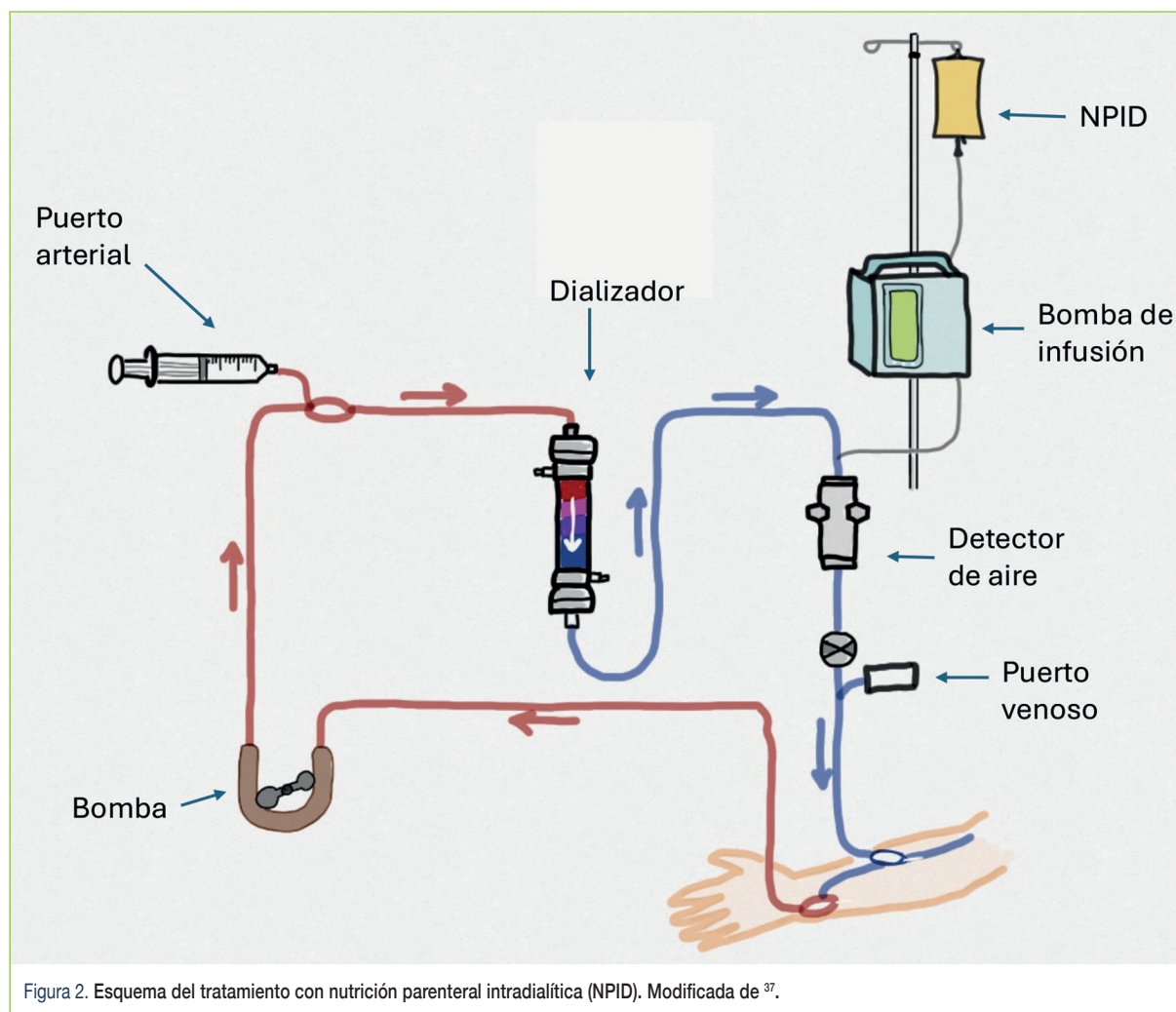


Figura 2. Esquema del tratamiento con nutrición parenteral intradiálisis (NPID). Modificada de ³⁷.

dad de energía consumida en la dieta diaria³⁹. No observaron diferencias en cuanto a parámetros metabólicos como la hemoglobina glicosilada o en la eficacia de la diálisis. En 2023, Meade publicó un artículo de revisión en el que concluía que la NPID podía ser una opción de tratamiento para pacientes que no responden a tratamiento convencional, pero que la calidad de la evidencia es baja y con gran heterogeneidad de los estudios⁴⁰. En este trabajo se establece el perfil de paciente que más se beneficiaría de la NPID: paciente clínicamente estable, desnutrido o con riesgo de estarlo, con apetito reducido, fracaso o intolerancia a los suplementos nutricionales orales e ingesta oral de más de 20 kcal/kg/día y más de 0,8 g/kg/día de proteínas. En el momento de la realización de esta revisión no se han encontrado trabajos que comparen la NPID con otras modalidades de tratamiento médico nutricional, por lo que se hace necesaria la investigación en este campo.

>>PROPUESTA DE PROTOCOLO DE UTILIZACIÓN DE LA NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIÁLÍTICA

Tras la revisión de la literatura, y siguiendo las guías clínicas y recomendaciones de expertos publicadas^{24,25,37,40,41}, se propone el siguiente protocolo de utilización de la NPID en los pacientes con enfermedad renal en tratamiento con HD periódica.

Indicaciones de la nutrición parenteral intradiálisis

La NPID está indicada en los pacientes con desnutrición o riesgo nutricional cuando otras medidas de tratamiento nutricional no se pueden aplicar o no son suficientes. Las guías clínicas recomiendan su utilización en base a distintos

TABLA IV. CRITERIOS PARA EL TRATAMIENTO CON NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIALÍTICA

Descenso del peso habitual > 10 % y/o disminución > 20 % del peso ideal en los últimos 6 meses
IMC < 18,5 kg/m ²
VSG/MIS con desnutrición moderada-grave
Albúmina < 3,8 g/dL, prealbúmina < 20 mg/dL o creatinina < 8 mg/dL durante 3 o más meses
Ángulo de fase inferior a 4°
Ingesta calórica < 25-28 kcal/kg/día
Ingesta proteica < 0,75 g/kg/día

IMC: índice de masa corporal; MIS: Malnutrition Inflammation Score (Puntuación de Desnutrición-Inflamación); VSG: valoración global subjetiva.

criterios, siendo necesario que se cumplan al menos tres de los enumerados en la [tabla IV](#)³⁷.

La NPID se podrá emplear de manera preferente en los siguientes pacientes:

- Cuando existe un riesgo nutricional adicional:
 - Otra patología (como enfermedad neurológica, neoplasia, necesidad de cirugía u otros tratamientos).
 - Durante o después de una hospitalización.
- Cuando existen problemas digestivos: por ejemplo, isquemia mesentérica crónica.

Antes de iniciar un tratamiento con NPID se debe atender a los siguientes puntos:

- Evaluación y tratamiento de las causas de la desnutrición.
- Optimización de la dieta oral y la utilización de suplementos nutricionales orales.
- Plantear nutrición enteral por sonda.
- Optimización de las patologías asociadas.
- Optimización del tratamiento renal sustitutivo.
- Estabilidad clínica del paciente.

La NPID, como tratamiento médico complejo, no se debe aplicar en todos los pacientes que presen-

ten desnutrición. Las guías clínicas recomiendan que se evite o se demore en las siguientes situaciones clínicas^{24,37,40}:

- Sobrecarga hídrica.
- Inestabilidad hemodinámica, hipotensión, hipertensión arterial.
- Acidosis metabólica grave.
- Desnutrición grave con ingesta muy reducida. En estos casos, la NPID no alcanzará los requerimientos nutricionales y se deberá considerar nutrición enteral o nutrición parenteral total si la nutrición enteral estuviera contraindicada o no se disponga de un acceso adecuado.
- Hiperglucemia grave, hipertrigliceridemia (> 500 mg/dL).

Características de la nutrición parenteral intradiálisis

La NPID se podrá llevar a cabo utilizando fórmulas individualizadas, preparadas en los servicios de farmacia hospitalaria o bien fórmulas comerciales cuya composición se adapte a las características de este tratamiento.

La nutrición parenteral preparada de manera individualizada tiene, en general, una caducidad de 5 días y debe conservarse en nevera hasta su administración. Las fórmulas comerciales se pueden conservar a temperatura ambiente. En general, se trata de preparados tricamerales, que se mezclan antes de la administración, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Tienen una composición fija y no aportan micronutrientes, aunque es posible añadir otros nutrientes o insulina a la mezcla, si fuera necesario, en campana de flujo laminar y de acuerdo con el criterio del servicio de farmacia hospitalaria, para evitar incompatibilidades.

Las guías clínicas y recomendaciones indican que un porcentaje elevado de los pacientes que precisan NPID pueden utilizar fórmulas comerciales, que están especialmente indicadas en los pacientes con mayor estabilidad metabólica. Existen varias fórmulas tricamerales disponibles en España; entre ellas, Olimel® N9 y Olimel® N12 incluyen autorizada en su ficha técnica una tasa

TABLA V. FÓRMULAS TRICAMERALES DISPONIBLES PARA EMPLEAR COMO NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIALÍTICA SEGÚN FICHA TÉCNICA

	Olimel® N9 1000 (sin electrolitos)	Olimel® N12 650 (sin electrolitos)	Olimel® N12 1000 (sin electrolitos)
Volumen (mL)	1000	650	1000
Vía administración	Central	Central	Central
Kcal totales (aprox.)	1070	620	950
Kcal no proteicas	840	420	640
N (g)	9	7,8	12,0
Aminoácidos (g)	56,9	49,4	75,0
Glucosa (g)	110	47,67	73,30
Lípidos (g)	40	22,8	35
Acetato (mmol)	40	35	54
P (mmol)	3	1,7	2,6
Osmolaridad aproximada (mOsm/L)	1170	1130	1130
pH	6,4	6,4	6,4

de infusión para la administración como NPID. Sus características se resumen en la [tabla V](#)^{42,43}.

Se preferirá la NPID individualizada en los pacientes con requerimientos especiales de macro o micronutrientes, necesidad de adaptar el aporte de electrolitos y minerales, en los pacientes con diabetes que precisan insulina o en los pacientes con desnutrición grave que inician este tratamiento.

No existe un acuerdo sobre la composición ideal de la fórmula de NPID. En la [tabla VI](#) se recogen las recomendaciones de algunas sociedades científicas, que son muy variables. No existen recomendaciones específicas de la administración de volumen, electrolitos y minerales o micronutrientes, que se deberán adaptar a los requerimientos y deficiencias previas. Según las distintas recomendaciones disponibles, el aporte de calorías debería corresponder a 100-

TABLA VI. RECOMENDACIONES DE LAS SOCIEDADES CIENTÍFICAS SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LA NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIALÍTICA

Sociedad, año	Energía (kcal)	Aminoácidos	Glucosa	Lípidos
ESPEN, 2000 ³⁷	800-1000	50 g	30 g	8
ESPEN, 2009 ³⁸	800-1200	30-60 g	No se especifica	
SEN/SENPE 2010 ³²	1000-1200	0,8-1,2 g/kg/día	150-175 g	40-50 g
DGEM, 2015 ³⁹	500-800	Mínimo 0,5 g/kg	Máximo 50-80 g	Máximo 20-30 g
KDOQI, 2020 ²⁴	No se especifica			
ESPEN, 2021 ²³	No se especifica			

DGEM: Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin; ESPEN: European Society for Clinical Nutrition and Metabolism; KDOQI: Kidney Disease Outcomes Quality Initiative; SEN/SENPE: Sociedad Española de Nefrología/Sociedad Española de Nefrología y Parenteral y Enteral.

200 kcal/h, y el de proteínas el correspondiente a 0,8-1,2 g/kg/día, siempre teniendo en cuenta que el aporte de glucosa no debería ser superior a 3-5 mg/kg/min, y que los lípidos deberían aportar entre el 20-40 % de las calorías totales.

En general, la NPID suele aportar el 20-25 % de los requerimientos calóricos diarios. Hay que tener en cuenta que se pueden perder durante la diálisis hasta el 30 % de los nutrientes infundidos. Si el aporte por vía digestiva no consigue completar este aporte para alcanzar los requerimientos, se debe considerar la utilización de nutrición parenteral total de manera independiente a la diálisis.

La nutrición parenteral con lípidos no se debe emplear en personas con alergia a las proteínas de huevo, semillas de soja, cacahuete, maíz o productos del maíz. Si se diera esta circunstancia, se debe evaluar cada caso de manera individual.

Pauta de administración

La complejidad del tratamiento con NPID requiere la utilización de protocolos y unos recursos humanos especializados. El papel de la enfermería es fundamental a lo largo de todo el proceso.

Se recomienda iniciar la NPID de manera progresiva para comprobar la tolerancia a este tratamiento, especialmente en los pacientes con desnutrición grave. En estos casos, se recomienda incrementar de manera progresiva el ritmo de infusión y el volumen total infundido a lo largo de las primeras 2 semanas de tratamiento, comenzando por un ritmo de 125 mL/h y aumentando hasta 250 mL/h. No se debe infundir a un ritmo superior a 300 mL/h. Se recomienda un tiempo de infusión de 3,5-4 horas en la HD discontinua y 2,5 horas en la diálisis diaria.

En el caso de que se precise administrar otros tratamientos durante la diálisis, los autores consideran que se debe valorar en primer lugar la posibilidad de interrumpir temporalmente el tratamiento con NPID. Si se considera que debe continuar, se recomienda lo siguiente³⁷:

- Si se trata de hemoderivados o hierro, se infundirán por la vía arterial, y se mantendrá la NPID por la vía de retorno venoso.

- Si se trata de antibióticos, resulta más conveniente infundirlos por la vía venosa. En este caso, la NPID se deberá pasar por la vía arterial, teniendo en cuenta que habrá una mayor pérdida de nutrientes.

Monitorización del tratamiento con nutrición parenteral intradiálisis

El tratamiento con NPID precisa de un control y monitorización tanto durante la propia infusión de la HD como a medio y largo plazo.

La monitorización durante la diálisis incluye los siguientes puntos:

- Vigilancia de reacciones adversas a la nutrición parenteral.
- Vigilancia de la tolerancia hemodinámica al tratamiento, control de la tensión arterial; volemia, ajuste de la tasa de ultrafiltración.
- Prevención y tratamiento de la hiperglucemia:
 - Se puede prescribir insulina en la NPID individualizada (1 UI por cada 10-15 g de glucosa).
 - Glucemia capilar antes, durante y después de la infusión.
 - Objetivo: 120-180 mg/dL.
 - Tener en cuenta el riesgo de hipoglucemia al terminar la NPID con una fórmula que incluya insulina.
- Vigilancia clínica y control de la glucemia capilar a los 30 minutos de haber terminado la infusión.
- Prevención y tratamiento de la hipoglucemia:
 - No es frecuente, en ausencia de administración de insulina.
 - Control de glucemia capilar al finalizar la diálisis.
 - Aporte de hidratos de carbono oral si la glucemia < 100 mg/dL.
- Prevención y tratamiento de la hipertrigliceridemia:
 - Tener en cuenta que si se desarrolla hiperglucemia es probable que exista también hipertrigliceridemia.
 - Control de triglicéridos durante la infusión y en las analíticas de seguimiento.

- Objetivo:
 - < 400 mg/dL durante la infusión.
 - < 250 mg/dL en la analítica de seguimiento.
- Prevención y tratamiento:
 - Ajuste de la dosis de lípidos.
 - Considerar fórmulas con triglicéridos de cadena media/omega 3.
 - Considerar carnitina (una ampolla intravenosa tras la NPID).
- Síndrome de realimentación:
 - Déficit de tiamina, sobrecarga de volumen, hipopotasemia, hipomagnesemia e hipofosfatemia.
 - Prevención:
 - Evaluación previa y tratamiento de deficiencias.
 - Inicio progresivo del tratamiento nutricional.
 - Tiamina en pacientes desnutridos o con baja ingesta.
 - 300 mg/día por vía oral.

- Si sospecha de síndrome de realimentación:
 - Ajustar el tratamiento nutricional: disminuir el aporte de manera empírica.
 - Tratamiento de la hipopotasemia, hipomagnesemia, hipofosfatemia.
 - Tiamina a dosis elevada: 100-300 mg/8 h por vía intravenosa.

Seguimiento clínico y analítico

Los pacientes que reciben NPID requieren un seguimiento clínico estrecho. Se realizará una evaluación del estado nutricional basal y cada 3 meses. La [tabla VII](#) recoge los parámetros más relevantes.

Es necesario tener en cuenta los resultados en salud generados por el paciente, la funcionalidad, el bienestar y la calidad de vida. Además, como todo tratamiento médico, debe ser reevaluado y es necesario tener presente que existen

TABLA VII. PARÁMETROS PARA MONITORIZAR DURANTE EL TRATAMIENTO CON NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIÁLITICA

Parámetro	Frecuencia	Criterio
Evaluación de la ingesta	Basal y cada 3 meses	Ingesta calórica > 25-30 kcal/kg Ingesta proteica > 1-1,2 g/kg/día
Antropometría	En cada sesión de hemodiálisis	Tendencia creciente, sin edema ni otros datos de sobrecarga de volumen
Valoración global subjetiva	Basal y cada 3 meses	Mejoría de categoría
Tasa de catabolismo proteico	Mensual	> 1 g/kg/día
Albúmina y prealbúmina	Mensual	Albúmina > 3 g/dL y prealbúmina > 20 mg/dL
Otros parámetros analíticos*	Mensual/trimestral	Vigilancia de complicaciones
Dinamometría de mano	Basal y cada 3 meses	> 27 en varones; > 16 en mujeres > P10
Composición corporal	Basal y cada 3 meses	Mantenimiento o mejoría
Pruebas funcionales	Basal y trimestral	Velocidad de la marcha > 0,8 m/s

* Hemograma, gasometría venosa, glucosa, urea, creatinina, ácido úrico, aspartato-aminotransferasa, alanina-aminotransferasa, γ -glutamilttransferasa, fosfatasa alcalina, bilirrubina, triglicéridos, colesterol, colesterol HLD, colesterol LDL, hemoglobina glicosilada, proteína C reactiva, proteínas totales, albúmina, prealbúmina, calcio, fósforo, magnesio, vitamina B12, ácido fólico, vitamina D, tirotopina y hormona paratiroidea.

TABLA VIII. CRITERIOS DE RETIRADA DE LA NUTRICIÓN PARENTERAL INTRADIALÍTICA

Mejoría del estado nutricional • Valoración global subjetiva normal o con desnutrición leve • Mejoría antropométrica • Peso seco > 80 % del peso ideal • Mejoría de la composición corporal y la funcionalidad
Aumento de la ingesta oral • Ingesta proteica > 1 g/kg/día • Ingesta calórica > 30 kcal/kg/día
Complicaciones o intolerancia a la nutrición parenteral intradialítica • Sobrecarga de volumen, hiperglucemia o hiperlipemia no controladas
Empeoramiento de la situación clínica del paciente
No mejoría del estado nutricional tras 4-6 meses de tratamiento
Indicación de nutrición enteral o parenteral total

unos criterios para la retirada de la NPID, que se describen en la tabla VIII.

Esta propuesta de protocolo incluye llevar a cabo registros y una evaluación de la efectividad y seguridad del tratamiento. La tabla IX recoge algunas consideraciones en este sentido.

>>CONCLUSIONES

La NPID es una alternativa segura para el tratamiento de la desnutrición en pacientes desnutridos que reciben tratamiento con HD. Es necesario hacer una evaluación cuidadosa de su

TABLA IX. PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EFECTIVIDAD Y SEGURIDAD DEL TRATAMIENTO

Utilización de una plantilla de prescripción que incluya monitorización y cuidados
Codificación de diagnóstico y procedimientos
Modelo de informe de nutrición al alta hospitalaria en pacientes con nutrición parenteral intradialítica
Registro de los pacientes que siguen este tratamiento
Sesiones conjuntas periódicas del equipo multidisciplinar
Establecimiento de indicadores de calidad • Seguimiento nutricional • Retirada del tratamiento por complicaciones

indicación para que la reciban aquellos pacientes que verdaderamente puedan beneficiarse de su administración y, además, es preciso monitorizar parámetros nutricionales y antropométricos durante el tratamiento. Son necesarios más estudios que comparen la eficacia de este tratamiento frente a otras modalidades de tratamiento médico nutricional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Unidad de Nutrición Clínica y Dietética y al Servicio de Farmacia Hospitalaria del Hospital General Universitario Gregorio Marañón (Madrid) por su participación y revisión de este protocolo clínico.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses en relación con este artículo.

>>BIBLIOGRAFÍA

1. Carrero JJ, Thomas F, Nagy K, Arogundade F, Avesani CM, Chan M, et al. Global Prevalence of Protein-Energy Wasting in Kidney Disease: A Meta-analysis of Contemporary Observational Studies From the International Society of Renal Nutrition and Metabolism. *J Ren Nutr*. 2018;28(6):380-92. DOI: 10.1053/j.jrn.2018.08.006
2. Xi WZ, Wu C, Liang YL, Wang LL, Cao YH. Analysis of malnutrition factors for inpatients with chronic kidney disease. *Front Nutr*. 2023;9:1002498. DOI: 10.3389/fnut.2022.1002498. PMID: 36687720; PMCID: PMC9852827.
3. Piccoli GB, Cederholm T, Avesani CM, Bakker SJL, Bellizzi V, Cuerda C, Cupisti A, Sabatino A, Schneider S, Torreggiani M, Fouque D, Carrero JJ, Barazzoni R. Nutritional status and the risk of malnutrition in older adults with chronic kidney disease - implications for low protein intake and nutritional care: A critical review endorsed by ERN-ERA and ESPEN. *Clin Nutr*. 2023 Apr;42(4):443-457. DOI: 10.1016/j.clnu.2023.01.018
4. Sahathevan S, Khor BH, Ng HM, Gafor AHA, Mat Daud ZA, Mafra D, et al. Understanding Development of Malnutrition in Hemodialysis Patients: A Narrative Review. *Nutrients*. 2020;12(10):3147. DOI: 10.3390/nu12103147

5. Montazerifar F, Karajibani M, Hassanpour Z, Pourmofatteh M. Study of Serum Levels of Leptin, C-Reactive Protein and Nutritional Status in Hemodialysis Patients. *Iran Red Crescent Med J*. 2015;17(8):e26880. DOI: 10.5812/ircmj.26880
6. Carrero JJ, Nakashima A, Qureshi AR, Lindholm B, Heimbürger O, Bárány P, et al. Protein-energy wasting modifies the association of ghrelin with inflammation, leptin, and mortality in hemodialysis patients. *Kidney Int*. 2011;79(7):749-56. DOI: 10.1038/ki.2010.487
7. Daniel SC, Azuero A, Gutierrez OM, Heaton K. Examining the relationship between nutrition, quality of life, and depression in hemodialysis patients. *Qual Life Res*. 2021;30(3):759-68. DOI: 10.1007/s11136-020-02684-2
8. Mekki K, Remaoun M, Belleville J, Bouchenak M. Hemodialysis duration impairs food intake and nutritional parameters in chronic kidney disease patients. *Int Urol Nephrol*. 2012;44(1):237-44. DOI: 10.1007/s11255-010-9875-8
9. Mortazavi M, Adibi P, Hassanzadeh Keshteli A, Feizi A, JameShorani M, Soodavi M, et al. Comparison of Gastrointestinal Symptoms between Patients Undergoing Hemodialysis and Healthy Population. *Middle East J Dig Dis*. 2022;14(3):310-6. DOI: 10.34172/mejdd.2022.288
10. Furtado T, Domingues P, Piedade A, Parreira L, Natário A. A Rare and Severe Cause of Abdominal Pain in a Hemodialysis Patient. *Cureus*. 2022;14(10):e30800. DOI: 10.7759/cureus.30800
11. Carrero JJ, Stenvinkel P, Cuppari L, Ikizler TA, Kalantar-Zadeh K, Kaysen G, et al. Etiology of the protein-energy wasting syndrome in chronic kidney disease: a consensus statement from the International Society of Renal Nutrition and Metabolism (ISRNM). *J Ren Nutr*. 2013;23(2):77-90. DOI: 10.1053/j.jrn.2013.01.001
12. Post A, Kremer D, Groothof D, Van der Veen Y, De Blaauw P, Van der Krogt J, et al. Amino Acid Homeostasis and Fatigue in Chronic Hemodialysis Patients. *Nutrients*. 2022;14(14):2810. DOI: 10.3390/nu14142810
13. Bolasco P. Hemodialysis-Nutritional Flaws in Diagnosis and Prescriptions. Could Amino Acid Losses be the Sharpest “Sword of Damocles”? *Nutrients*. 2020;12(6):1773. DOI: 10.3390/nu12061773
14. Jankowska M, Rutkowski B, Dębska-Ślizień A. Vitamins and Microelement Bioavailability in Different Stages of Chronic Kidney Disease. *Nutrients*. 2017;9(3):282. DOI: 10.3390/nu9030282
15. Kang SH, Kim AY, Do JY. Association of sarcopenia and its components with clinical outcomes in patients undergoing peritoneal dialysis. *Kidney Res Clin Pract*. 2022;41(6):741-52. DOI: 10.23876/j.krcp.21.278
16. Matsuzawa R, Imai H, Wada K, Okada T, Deguchi K, Horinouchi A, et al. #3246 the association of the co-occurrence of malnutrition and sarcopenia with mortality in hemodialysis patients: a multicenter prospective cohort study. *Nephrology Dialysis Transplantation*. 2023;38(Suppl 1).
17. Borges MC, Vogt BP, Martin LC, Caramori JC. Malnutrition Inflammation Score cut-off predicting mortality in maintenance hemodialysis patients. *Clin Nutr ESPEN*. 2017;17:63-67. DOI: 10.1016/j.clnesp.2016.10.006
18. Macedo C, Amaral TF, Rodrigues J, Santin F, Avesani CM. Malnutrition and Sarcopenia Combined Increases the Risk for Mortality in Older Adults on Hemodialysis. *Front Nutr*. 2021;8:721941. DOI: 10.3389/fnut.2021.721941
19. Rosenberger J, Kissova V, Majernikova M, Strausova Z, Boldizar J. Body composition monitor assessing malnutrition in the hemodialysis population independently predicts mortality. *J Ren Nutr*. 2014;24(3):172-6. DOI: 10.1053/j.jrn.2014.01.002
20. Sá Martins V, Adragão T, Aguiar L, Pinto I, Dias C, Figueiredo R, et al. Prognostic Value of the Malnutrition-inflammation Score in Hospitalization and Mortality on Long-term Hemodialysis. *J Ren Nutr*. 2022;32(5):569-77. DOI: 10.1053/j.jrn.2021.11.002
21. Kalantar-Zadeh K, Kopple JD, Block G, Humphreys MH. A malnutrition-inflammation score is correlated with morbidity and mortality in maintenance hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis*. 2001;38(6):1251-63. DOI: 10.1053/ajkd.2001.29222
22. Jensen GL, Cederholm T, Correia MITD, Gonzalez MC, Fukushima R, Higashiguchi T, et al. GLIM Criteria for the Diagnosis of Malnutrition: A Consensus Report From the Global Clinical Nutrition Community. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2019;43(1):32-40. DOI: 10.1002/jpen.1440
23. Song HC, Shin J, Hwang JH, Kim SH. Utility of the Global Leadership Initiative on Malnutrition criteria for the nutritional assessment of patients with end-stage renal disease receiving chronic hemodialysis. *J Hum Nutr Diet*. 2023;36(1):97-107. DOI: 10.1111/jhn.13019
24. Fiaccadori E, Sabatino A, Barazzoni R, Carrero JJ, Cupisti A, De Waele E, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in hospitalized patients with acute or chronic kidney disease. *Clin Nutr*. 2021;40(4):1644-68. DOI: 10.1016/j.clnu.2021.01.028
25. Ikizler TA, Burrowes JD, Byham-Gray LD, Campbell KL, Carrero JJ, Chan W, et al. KDOQI Clinical Practice Guideline for Nutrition in CKD: 2020 Update. *Am J Kidney Dis*. 2020;76(3 Suppl 1):S1-S107. DOI: 10.1053/j.ajkd.2020.05.006. Fe de erratas en: *Am J Kidney Dis*. 2021;77(2):308. DOI: 10.1053/j.ajkd.2020.11.004
26. Kistler BM, Moore LW, Benner D, Biruete A, Boaz M, Brunori G, et al. The International Society of Renal Nutrition and Metabolism Commentary on the National Kidney Foundation and Academy of Nutrition and Dietetics KDOQI Clinical Practice Guideline for Nutrition in Chronic Kidney Disease. *J Ren Nutr*. 2021;31(2):116-20.e1. DOI: 10.1053/j.jrn.2020.05.002
27. Wiggins KL, Harvey KS. A review of guidelines for nutrition care of renal patients. *J Ren Nutr*. 2002;12(3):190-6. DOI: 10.1053/jren.2002.34252

28. Kalista-Richards M. The kidney: medical nutrition therapy--yesterday and today. *Nutr Clin Pract.* 2011;26(2):143-50. DOI: 10.1177/0884533611399923
29. Bertoni VM, Alves AL, Santos H, Oliveira GF, Pasqualotti A. Specialized Oral Nutritional Supplementation Increases Hand-Grip Strength In Older Hemodialysis Patients. *Clin Nutr ESPEN.* 2023;54.
30. Liu PJ, Guo J, Zhang Y, Wang F, Yu K. Effects of oral nutritional supplements on the nutritional status and inflammatory markers in patients on maintenance dialysis: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Clin Kidney J.* 2023;16(11):2271-88. DOI: 10.1093/ckj/sfad130
31. Hubbard GP, Elia M, Holdoway A, Stratton RJ. A systematic review of compliance to oral nutritional supplements. *Clin Nutr.* 2012;31(3):293-312. DOI: 10.1016/j.clnu.2011.11.020
32. Chan W. Chronic Kidney Disease and Nutrition Support. *Nutr Clin Pract.* 2021;36(2):312-30. DOI: 10.1002/ncp.10658
33. García de Lorenzo A, Arrieta J, Ayúcar A, Barril G, Huarte E; Sociedad Española de Nefrología; Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral. Nutrición parenteral intradiálisis en el enfermo renal crónico: consenso SEN-SENPE [Intra-dialysis parenteral nutrition in chronic renal patients: consensus SEN-SENPE]. *Nutr Hosp.* 2010;25(3):375-7.
34. Sabatino A, Regolisti G, Antonucci E, Cabassi A, Morabito S, Fiaccadori E. Intradialytic parenteral nutrition in end-stage renal disease: practical aspects, indications and limits. *J Nephrol.* 2014;27(4):377-83. DOI: 10.1007/s40620-014-0051-6
35. Jonny J, Pasiak TF, Ariliusra Z, Hernowo BA. Practical aspects of providing intradialytic parenteral nutrition for patients undergoing hemodialysis in Indonesia: A review. *Ukr J Nephrol Dial.* 2024;1(81):62-70. DOI: 10.31450/ukrjnd.1(81).2024.08
36. Piccoli GB, Lippi F, Fois A, Gendrot L, Nielsen L, Vigreux J, et al. Intradialytic Nutrition and Hemodialysis Prescriptions: A Personalized Stepwise Approach. *Nutrients.* 2020;12(3):785. DOI: 10.3390/nu12030785
37. Carrero JJ, Severs D, Aguilera D, Fiaccadori E, Gonzalez MG, Haufe CC, et al. Intradialytic parenteral nutrition for patients on hemodialysis: when, how and to whom? *Clin Kidney J.* 2022;16(1):5-18. DOI: 10.1093/ckj/sfac171
38. Marsen TA, Beer J, Mann H; German IDPN-Trial group. Intradialytic parenteral nutrition in maintenance hemodialysis patients suffering from protein-energy wasting. Results of a multicenter, open, prospective, randomized trial. *Clin Nutr.* 2017;36(1):107-17. DOI: 10.1016/j.clnu.2015.11.016
39. Kittikulnam P, Banjongjit A, Metta K, Tiranathanagul K, Avihingsanon Y, Praditpornsilpa K, et al. The beneficial effects of intradialytic parenteral nutrition in hemodialysis patients with protein energy wasting: a prospective randomized controlled trial. *Sci Rep.* 2022;12(1):4529. DOI: 10.1038/s41598-022-08726-8
40. Meade A, Dawson J, Mullan A. Revisiting Intradialytic Parenteral Nutrition: How Can We Apply the Evidence in Clinical Practice? *Adv Kidney Dis Health.* 2023;30(6):502-7. DOI: 10.1053/j.akdh.2023.07.006
41. Cano NJ, Aparicio M, Brunori G, Carrero JJ, Cianciaruso B, Fiaccadori E, et al; ESPEN. ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition: adult renal failure. *Clin Nutr.* 2009;28(4):401-14. DOI: 10.1016/j.clnu.2009.05.016
42. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). Centro de Información online de Medicamentos de la AEMPS (CIMA). Ficha técnica de Olimel N12 [consultada 17/11/2024]. Disponible en: https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/84398/84398_ft.pdf
43. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). Centro de Información online de Medicamentos de la AEMPS (CIMA). Ficha técnica de Olimel N9 [consultada 17/11/2024]. Disponible en: https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/72066/72066_ft.pdf

[r e v i s i ó n]

Hidratación en el paciente hospitalizado: un punto clave, aunque infravalorado

Hydration in hospitalized patients: a key but underestimated issue

María Casado Rodríguez y María D. Ballesteros Pomar

Servicio de Endocrinología y Nutrición. Complejo Asistencial Universitario de León. León

Cómo citar este trabajo

Casado Rodríguez Mª y Ballesteros Pomar Mª D. Hidratación en el paciente hospitalizado: un punto clave, aunque infravalorado. Nutr Clin Med 2024;18(3):151-162

Palabras clave

Fluidoterapia, equilibrio hidroelectrolítico, deshidratación.

>>RESUMEN

El equilibrio hidroelectrolítico es un punto crítico en el manejo del paciente hospitalizado: cubrir los requerimientos hidroelectrolíticos tiene un papel fundamental en el pronóstico a corto y a largo plazo. En las situaciones patológicas se debe tener en cuenta el equilibrio entre aportes y pérdidas hidroelectrolíticas, así como el equilibrio interno entre los compartimentos intracelulares y extracelulares. No existe un protocolo general exacto de fluidoterapia intravenosa para cada cuadro clínico. Las pautas de fluidos deben ser ajustadas a cada caso, utilizándolas solo si su situación lo requiere. En caso de ser esta necesaria, es importante estimar por cuánto tiempo y qué tipo de solución intravenosa emplear, así como el objetivo con el que se emplea: para mantenimiento o para la sustitución de pérdidas patológicas, como vía de administración de medicamentos, para la reanimación, etc. Es importante ajustar el aporte, especialmente en situaciones de insuficiencia orgánica (insuficiencia cardíaca, insuficiencia renal aguda, insuficiencia hepática), así como realizar balance diario de líquidos, ajustando según el aporte y la pérdida. El empleo de fluidoterapia requiere su correspondiente monitorización y seguimiento tanto con signos clínicos como analíticos.

La ausencia de hidratación en el paciente hospitalizado cuando esta es necesaria es perjudicial, ya que causa disminución de la perfusión tisular, fallo renal prerrenal y alteraciones de la coagulación. Sin embargo, la fluidoterapia excesiva también supone riesgos, produciéndose iatrogenia por su mal uso, como la hiponatremia, la sobreexpansión del espacio intersticial, o la acidosis hiperclorémica en el uso de suero salino fisiológico. En pacientes con fluidoterapia, la ingesta oral debería comenzar lo antes posible siempre que la patología y la situación clínica del paciente lo permitan. Como conclusión, tanto el exceso como el defecto de la hidratación tienen impacto pronóstico en el paciente hospitalizado. La sueroterapia durante tiempo prolongado puede empeorar los resultados clínicos de los pacientes, no estando exenta de riesgos, por lo que se debe valorar su estricta necesidad de manera periódica.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 151-162

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0003

Correspondencia

María D. Ballesteros Pomar

Email: dballesteros@saludcastillayleon.es

Obra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Más información:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Key words

Fluid therapy, hydroelectrolytic balance, dehydration.

<<ABSTRACT

The hydroelectrolytic balance is a critical point in the management of hospitalized patients: meeting hydroelectrolytic requirements plays a fundamental role in short- and long-term prognosis. In pathological situations, it is essential to consider the balance between body balance and the environment (intake and loss), as well as the internal balance between intracellular and extracellular compartments. There is no general protocol for IV fluid therapy for each clinical situation; fluid guidelines should be tailored to each case, using them only when necessary. If needed, it is important to estimate for how long and what type of intravenous solution to use, as well as the objective for its use: for maintenance or replacement of pathological losses, as a route for drug administration, for resuscitation, etc. It is crucial to adjust the intake, especially in situations of organ failure (heart failure, acute kidney failure, liver failure), and to perform daily fluid balance, adjusting according to intake and loss. The use of fluid therapy requires monitoring with both clinical and analytical signs.

The absence of hydration in the hospitalized patient when it is necessary is detrimental, causing decreased tissue perfusion, prerenal kidney failure, and coagulation disorders. However, fluid therapy also has risks, leading to iatrogenesis such as hyponatremia, overexpansion of the interstitial space, or hyperchloremic acidosis when using normal saline. In patients receiving fluid therapy, oral intake should be started as soon as possible, provided that the patient's pathology and clinical situation allow it. In conclusion, both excess and deficiency of hydration have prognostic impacts on hospitalized patients. Prolonged fluid therapy can affect clinical outcomes in patients, having risks, so its need should be evaluated.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 151-162

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0003

>>RECOMENDACIONES SOBRE HIDRATACIÓN EN ADULTOS SANOS Y MAYORES

La estimación de los requerimientos hídricos no es un punto sencillo. En el caso de las personas sanas, los mecanismos fisiológicos de regulación, fundamentalmente la sed, permiten que alcancen fácilmente sus requerimientos. La sed se genera por mecanismos activados cuando se detecta un aumento de osmolaridad. Del mismo modo, el aumento de osmolaridad estimula la secreción de hormona antidiurética (ADH), incrementándose la reabsorción renal de agua.

Los requerimientos varían en función de la edad, el sexo o el peso corporal, entre otros factores. Algunas circunstancias como la práctica de ejercicio físico o un clima cálido hacen que los mismos aumenten. Para las recomendaciones de ingesta hídrica se consideran de referencia las del Instituto de Medicina de Estados Unidos¹ y las de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA)². Según la EFSA, los varones entre 19 y 70 años requieren 2,5 litros de agua diaria y las mujeres 2 litros, incluyendo también el agua de otras bebidas y los alimen-

tos; a partir de la adolescencia en los varones se recomienda una ingesta hídrica mayor que en las mujeres.

Todas las personas mayores tienen el riesgo de deshidratación. El agua corporal disminuye conforme avanza la edad y además el uso de diuréticos y laxantes es común en la población mayor. Además, la detección de la deshidratación se hace más complicada en personas mayores, en las que, por ejemplo, el mecanismo de la sed está modificado. La prevalencia es también muy elevada en las residencias, habitualmente asociada a una pobre ingesta³.

Es por ello que las recomendaciones de las guías de la European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) sobre la hidratación y nutrición en pacientes mayores, alertan sobre el escaso valor de los signos clínicos, como el pliegue cutáneo, la sequedad de mucosas, el peso o el color de la orina y, en caso de sospecha, para identificar la deshidratación por bajo consumo de líquidos recomiendan realizar una prueba de osmolaridad sérica o plasmática, estando aumentada en caso de deshidratación. En adultos mayores, una osmolaridad sérica mayor de 300 mOsm/kg indica deshidratación por bajo consumo.

Cuando no puede medirse, la guía recomienda el cálculo de la osmolaridad con la fórmula $\text{Osm} = 1,86 \times (\text{Na mmol/L} + \text{K mmol/L}) + 1,15 \times \text{Glucosa mmol/L} + \text{Urea mmol/L} + 14$, con un umbral de 295 mmol/L^{4,5}.

>>HIDRATACIÓN EN EL PACIENTE HOSPITALIZADO

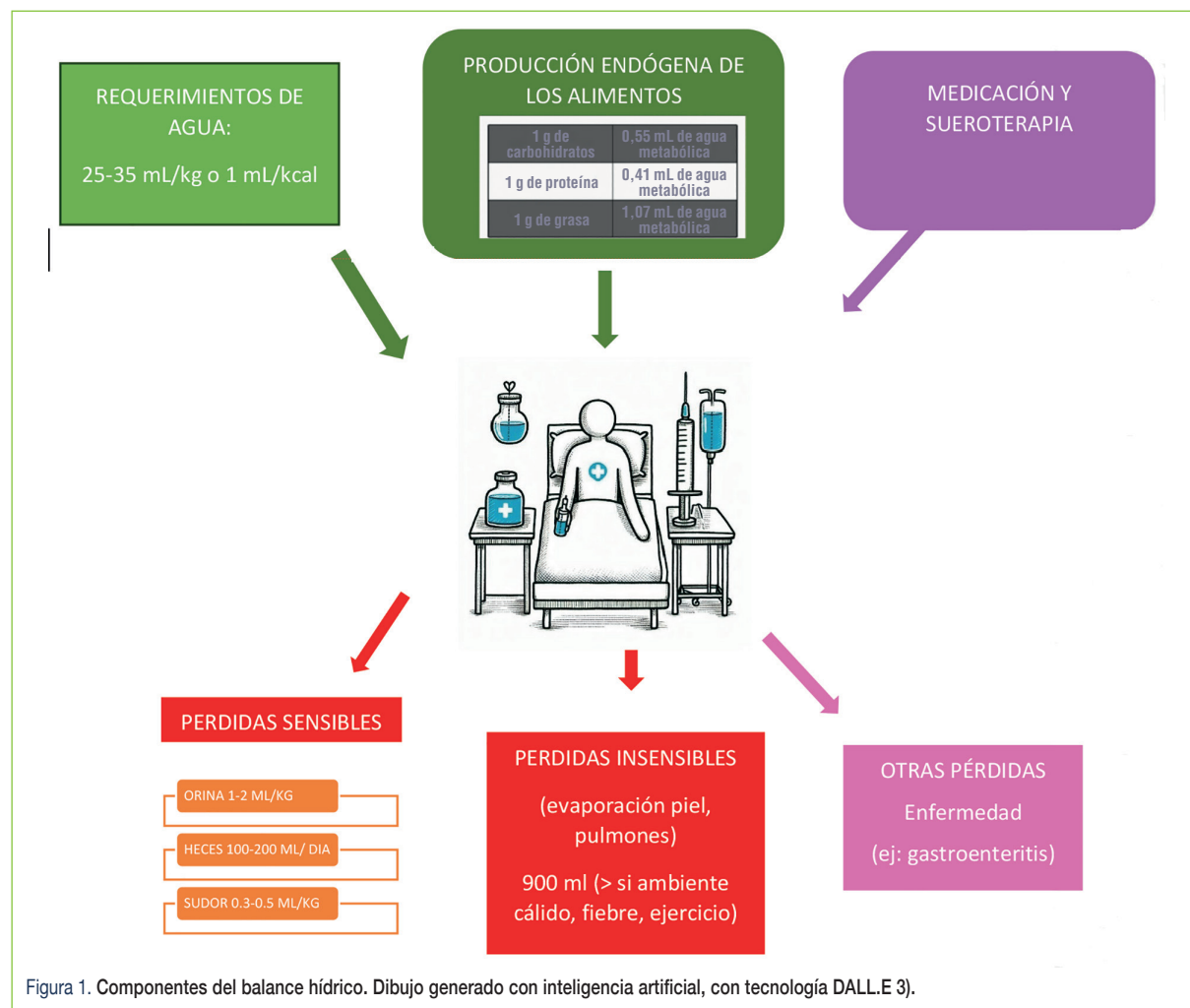
Uno de los puntos críticos en el manejo de un paciente hospitalizado es el equilibrio hidroelectrolítico y, sin embargo, a menudo no se le presta la suficiente atención. En el paciente hospitalizado se deben cubrir los requerimientos hidroelectrolíticos, teniendo esto un papel fundamental en el pronóstico a corto y a largo plazo. El empleo de fluidoterapia es esencial en el manejo del paciente hospitalizado, siendo importante conocer cuál es la adecuada en cada paciente y patología, así como utilizarla

en el paciente si su situación lo requiere. Cada paciente y enfermedad deben ser manejados de forma individualizada, siendo esencial seleccionar de forma adecuada el fluido que se empleará en cada caso.

Los requerimientos suelen estimarse en función del peso del paciente, 25-35 mL/kg de peso, o adecuados a la ingesta calórica, como 1 kcal/mL⁶. El balance hídrico está constituido por una ingesta (a través de alimentos, bebidas y agua metabólica) y unas pérdidas (a través de las heces, orina y sudor)⁷.

En la figura 1 se reflejan los componentes del balance hídrico, tanto en situación de salud como de enfermedad.

Durante la hospitalización, es frecuente la alteración del mecanismo hidroelectrolítico, tanto por la propia enfermedad *per se* (por ejemplo,



deshidratación en caso de gastroenteritis) como en respuesta a la inflamación, produciéndose en dichas situaciones alteración de la permeabilidad de las membranas celulares y desequilibrio entre el agua intracelular y extracelular. También los tratamientos son una causa de desequilibrio hidroelectrolítico, por ejemplo, con el uso de diuréticos o de sueroterapia inadecuada.

Es frecuente que durante la hospitalización el paciente no pueda hidratarse empleando la vía oral o que esté contraindicado el uso de vía digestiva, siendo necesario entonces recurrir a la fluidoterapia por vía intravenosa o a la nutrición parenteral. El empleo de fluidoterapia requiere su correspondiente monitorización y seguimiento tanto con signos clínicos (diuresis, tensión arterial, presencia de edemas) como analíticos (niveles de iones en plasma y osmolaridad), como se comentará en los siguientes apartados.

La bioimpedancia eléctrica es una técnica no invasiva que permite analizar el estado de hidratación de forma objetiva, complementando la evaluación clínica y ayudando a identificar, por ejemplo, la sobrehidratación en pacientes dializados^{8,9}. Sin embargo, no es una técnica accesible en la mayor parte de los contextos clínicos y las guías ESPEN no la recomiendan en los mayores.

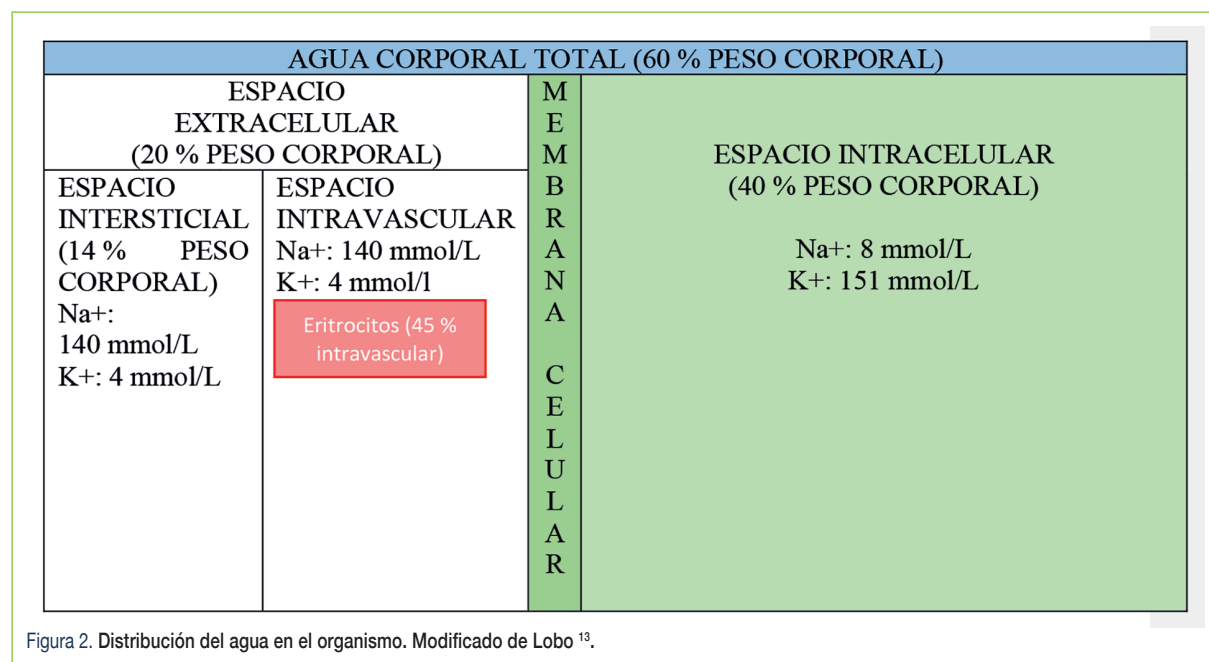
>>DISTRIBUCIÓN DE FLUIDOS EN EL ORGANISMO

El agua supone el 60 % del peso de un adulto. En los lactantes de 0-6 meses de vida, el agua constituye un 75 % del peso corporal total, disminuyendo este porcentaje al 60 % en la edad adulta. En mayores de 50 años, el agua supone en torno a un 50 % del peso corporal total¹⁰. A nivel funcional, participa como solvente, interviene en el transporte y en la eliminación de productos de desecho, en la modulación de la presión osmótica y en la termorregulación¹¹.

El agua corporal total está distribuida funcionalmente en el espacio extracelular (en torno al 20 % peso corporal) e intracelular (aproximadamente el 40 % del peso corporal), separados por las membranas celulares. El espacio extracelular está dividido en intravascular e intersticial (figura 2). La presión hidrostática de la circulación tiende a llevar el fluido al espacio intersticial, mientras que la presión oncótica de las proteínas del plasma mantiene en el espacio intravascular.

>>FISIOPATOLOGÍA DEL BALANCE HIDROELÉCTRICO

En circunstancias normales, el aporte hídrico es oral, incluyendo alimentos. Nuestro aporte oral de agua está regulado por la sensación de sed.



Aunque puede estar algo alterada en ancianos, en la mayoría de las personas el mecanismo de la sed asegura un aporte adecuado en función de los requerimientos para las funciones fisiológicas. De este modo se mantiene una osmolaridad normal, entre 280-290 mOsm/kg.

El principal órgano regulador del balance hidroelectrolítico es el riñón, dependiendo de la presión arterial y la osmolaridad plasmática, mediante la secreción de hormonas. Mínimas fluctuaciones en la ingesta diaria de agua y sodio causan pequeños cambios en la osmolaridad del plasma y el volumen, siendo esto detectado por los barorreceptores y los osmorreceptores. Esto produce cambios en la sensación de la sed, y en la excreción renal de agua (ADH) y sodio (aldosterona)¹².

La disminución del aporte de agua o el aumento de las pérdidas de agua libre supone un aumento de la osmolaridad extracelular¹³, que genera un incremento de la sensación de sed (la osmolaridad es detectada por los osmorreceptores del hipotálamo), un aumento de la ADH, reabsorbiéndose más agua a nivel renal, generando orina más concentrada, y un aumento de la secreción de aldosterona (estimula la reabsorción renal de agua y sodio).

En casos de deshidratación, la respuesta fisiológica del riñón es concentrar lo máximo posible la orina y reabsorber agua. La producción metabólica diaria de urea se puede excretar en 500 mL de orina (volumen mínimo).

Del mismo modo, la dilución del espacio extracelular por aumento de la ingesta hídrica o fluidos hipotónicos, produce la disminución de la secreción de ADH, produciéndose así una mayor excreción de agua en el túbulo distal del riñón, disminuye la sensación de sed y la secreción de aldosterona.

>>HIDRATACIÓN EN SITUACIONES PATOLÓGICAS DEL ADULTO

En las situaciones patológicas tiene su importancia el balance de fluidos y electrolitos, debiendo tener en cuenta, además del equilibrio entre el balance corporal con el medio ambiente (aporte y pérdida), el equilibrio interno entre los compartimentos intracelulares y extracelulares. En

circunstancias patológicas, en ocasiones los pacientes no pueden ser hidratados por vía oral o está contraindicado el uso del tubo digestivo. Lo fundamental es distinguir si el paciente realmente necesita fluidoterapia intravenosa y, en caso de ser esta necesaria, por cuánto tiempo y qué tipo de solución intravenosa emplear, así como el objetivo con el que se utiliza: para el mantenimiento o la sustitución de pérdidas patológicas, como vía de administración de medicamentos, para la reanimación, etc.

Tipos de soluciones intravenosas

En función de su osmolaridad en relación con el plasma, las soluciones intravenosas se clasifican como isotónicas, hipotónicas e hipertónicas (similar, menor y mayor osmolaridad que el plasma, respectivamente). El sodio es el electrolito que más influye en la osmolaridad del plasma¹⁴ y en las soluciones intravenosas, por lo que, en muchas ocasiones, esta clasificación se refiere a la comparación de la concentración de sodio. Es importante conocer que las distintas soluciones se distribuyen también de forma distinta en los compartimentos corporales en función de su composición (figura 3), por lo que la selección debe tener en cuenta esta distinta distribución. Las soluciones coloides se distribuyen en el plasma, los sueros salinos llegan al líquido intersticial y los glucosados al espacio intracelular.

Los cristaloideos contienen sales de bajo peso molecular. En este tipo de fluidos se agrupan el suero salino hipotónico (0,45 %), la solución salina al 0,9 % (mal llamada suero fisiológico), el salino hipertónico, los sueros glucosados (5, 10, 20 o 40 %), el suero glucosalino y el Ringer lactato (tabla I). Se distribuyen en el espacio extracelular incluyendo el plasma (figura 3). Sin embargo, en la práctica, la capacidad que tienen para expandir el plasma en volumen es solo el 20-25 % del volumen perfundido, desplazándose la mayoría al espacio intersticial. Sus indicaciones, entre otras,, son ser vehículo farmacológico, mantener las vías parenterales, aportar iones y fluidos, estimular la diuresis y la protección ante nefrotóxicos. Dos soluciones empleadas con frecuencia son el suero salino (0,9 %) y el suero salino hipotónico (0,45 %).

Los sueros glucosados tienen diferentes concentraciones, y pueden ser hiperosmolares, aunque

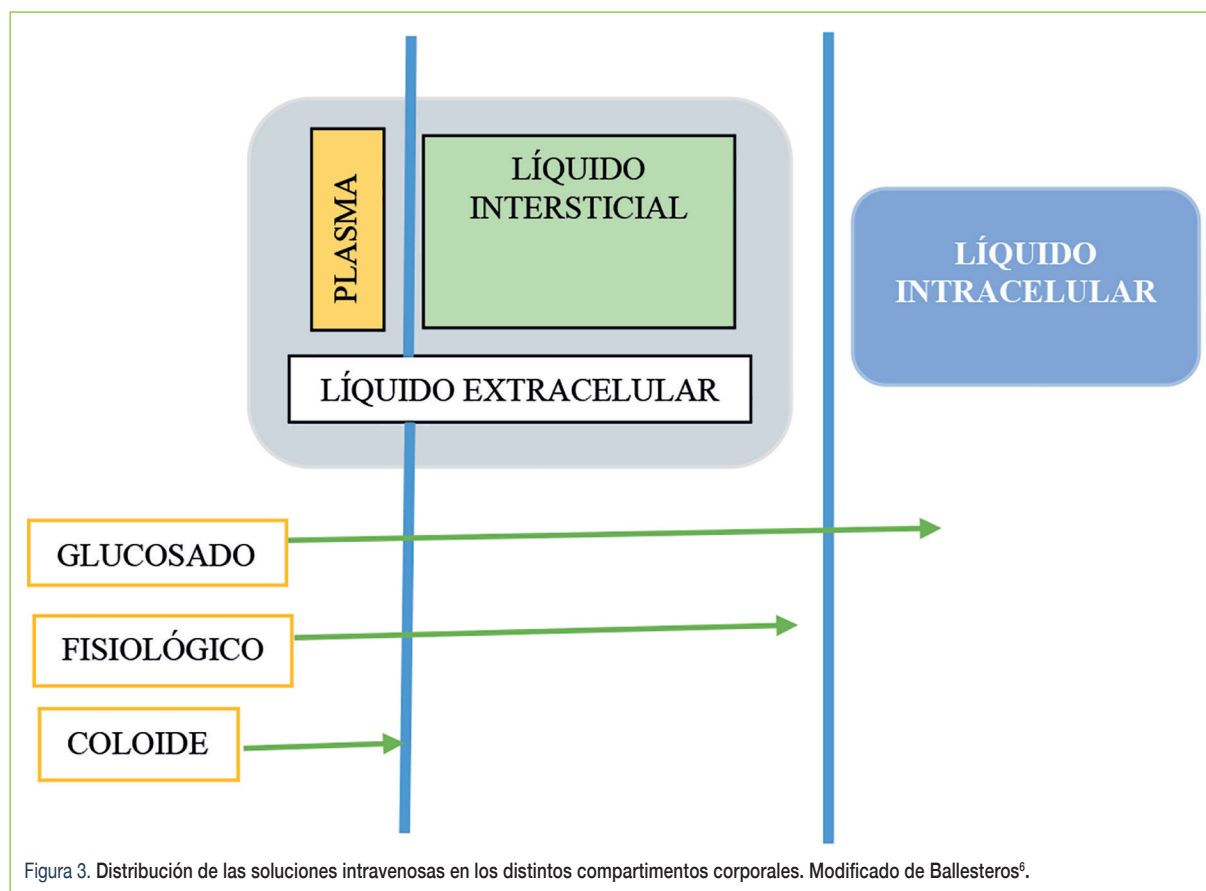


TABLA I. SOLUCIONES CRISTALOIDES PARA FLUIDOTERAPIA INTRAVENOSA							
Nombre	Kcal	Glucosa (g)	Na (mEq/L)	K (mEq/L)	Cl (mEq/L)	Ca (mEq/L)	Osm (mOsm/L)
Glucosado al 5 %	200	50	0	0	0	0	275-300
G	400	100	0	0	0	0	555
G	0	0	154	0	154	0	308
G	0	0	77	0	77	0	154
G	0	0	342	0	342	0	684
G	200	50	154	0	154	0	560
G	132	33	51	0	51	0	270
G	0	0	130	4	109	3	272
G	210	0	140	5	98	0	295

La composición se refiere a cada 1000 mL.
Modificada de ⁶.

se consideran hipotónicos porque tienen escasa capacidad oncótica. Las soluciones balanceadas (Ringer, Ringer lactato/solución Hartmann, Ringer acetato, Plasmalyte®) son cristaloides con similar osmolaridad y composición (sodio, potasio, cloruro, calcio y magnesio) que el plasma humano, siendo así las soluciones que tienen mayor capacidad para mantener el equilibrio ácido-base^{8,15}.

Los coloides contienen partículas de peso molecular elevado, aumentan la osmolaridad plasmática —albúmina, dextranos, etc.— y actúan como expansores del plasma, reteniendo agua en el espacio intravascular, ya que no pueden atravesar las membranas celulares¹⁶. Existen coloides de tipo natural, derivados del plasma, como la albúmina (concentraciones del 5-20 %), y los coloides sintéticos. Algunas indicaciones son el sangrado activo, pérdidas proteicas importantes, o cuando los cristaloides no consiguen una expansión plasmática adecuada.

>>PRESCRIPCIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE SOLUCIONES HIDROELECTROLÍTICAS

En primer lugar, se debe plantear si el paciente requiere administración de soluciones hidroelectrolíticas. No todos los pacientes necesitan fluidoterapia, aunque es muy habitual que se prescriba durante la hospitalización sin una clara indicación. Si el paciente tiene un aporte oral calórico e hídrico adecuado durante la hospitalización, generalmente no lo requiere, pudiendo ser incluso perjudicial en estos casos por el riesgo de tromboflebitis e infección¹⁷ o retrasar la ingesta oral. Recordemos además que el exceso de volumen también tiene consecuencias perjudiciales para el paciente. Generalmente, los pacientes que reciben nutrición parenteral o enteral tienen ya un aporte hídrico y de electrolitos cubierto, por lo que no requieren fluidos intravenosos adicionales. Por ejemplo, en el caso de pacientes en posoperatorio, cualquier administración intravenosa debería ser interrumpida tan pronto como la situación clínica lo permita⁶.

En segundo lugar, plantear cuál es la necesidad o el objetivo de la prescripción de la misma: resucitación, reposición de pérdidas o mantenimiento. Muchos pacientes padecen la iatrogenia del empleo de fluidoterapia de resucitación demasiado tiempo, cuando los requerimientos son ya

de mantenimiento. La elección de la misma debe ser valorada teniendo en cuenta las características previas del paciente, su situación clínica, y sus alteraciones hidroelectrolíticas y del equilibrio ácido-base¹⁸. En la mayoría de las indicaciones de fluidoterapia, la óptima a emplear son los cristaloides.

En tercer lugar, elegir la vía de administración, que debe ser la más simple, segura y efectiva para la situación clínica del paciente. Siempre que sea posible, se utilizará la vía oral. La vía subcutánea se debería considerar especialmente en pacientes ancianos para el mantenimiento en situaciones crónicas o problemas recurrentes, así como en pacientes que están recibiendo cuidados paliativos. En situaciones agudas, o cuando existe disfunción gastrointestinal o el déficit es elevado, la vía intravenosa es la más apropiada; sin embargo, esta se interrumpirá tan pronto como sea posible, cuando la situación clínica del paciente lo permita y sea posible el aporte oral.

Fluidoterapia en la resucitación

La resucitación es el objetivo de la fluidoterapia, por ejemplo, en grandes pérdidas sanguíneas en cirugía, pacientes quemados, pérdidas gastrointestinales o renales de agua y electrolitos, con la finalidad de restaurar y mantener la circulación y la perfusión tisular, así como la función de órganos vitales. En esta situación, los pacientes reciben perfusiones rápidas de cristaloides. Si a pesar de la fluidoterapia el paciente persiste hemodinámicamente inestable, puede significar que esta no sea lo suficientemente efectiva y que sea necesario emplear fármacos vasoactivos¹⁹.

En el caso de pérdidas intravasculares, los coloides o la administración de una combinación de coloides y cristaloides puede ser apropiada. En la resucitación, los volúmenes elevados de suero 0,9 % se intentan evitar (salvo tras pérdidas gástricas), por el riesgo de acidosis hiperclorémica. En caso de pérdidas sanguíneas elevadas, es fundamental reconocer la presencia del *shock* hemorrágico y controlar la hemorragia, y se puede requerir transfusión sanguínea. La sepsis es también una emergencia que requiere resucitación, así como el *shock* séptico. En estos casos, es fundamental la administración precoz de antibioterapia empírica junto con la administración de cristaloides intravenosos en la primera hora

si hay hipotensión o los niveles de lactato son superiores a 4 mmol/L; será necesario utilizar vasopresores si no se logra aumentar la tensión arterial, con el objetivo de mantener esta en valores superiores o iguales a 65 mmHg^{9,19}. Una vez que la resucitación se ha logrado (valorando la normalización de signos vitales y de la diuresis), se debe cambiar a un régimen de mantenimiento con la adecuada reposición si hay pérdidas.

Fluidoterapia de mantenimiento

Una vez que se ha logrado la resucitación, la prescripción de sueroterapia debería modificarse a un régimen de mantenimiento con el objetivo de conseguir el adecuado reemplazo de las pérdidas. Excederse de estos requerimientos es innecesario y perjudicial. Es fundamental, por tanto, reconocer cuándo los pacientes han sido resucitados con fluidoterapia intravenosa de forma adecuada y están estabilizados para comenzar la desescalada hasta el mantenimiento. Durante la fase de desescalada, el objetivo es prevenir la administración en exceso de fluidoterapia, que supone un exceso de agua y electrolitos para el paciente. El objetivo es reponer las pérdidas insensibles diarias (500-1000 mL), proporcionando el suficiente aporte de agua y electrolitos para lograr el mantenimiento y el equilibrio hidroelectrolítico. Si el paciente presenta alguna pérdida extra de líquido y electrolitos —por ejemplo, renal o gastrointestinal—, la prescripción de fluidoterapia debería incluir los requerimientos diarios de agua y electrolitos y lo necesario para reemplazar cualquier pérdida.

La ingesta oral debería comenzarse lo antes posible siempre que la patología y la situación clínica del paciente lo permitan. Se ha de tener en cuenta que la excreción fisiológica de agua y solutos depende de la función renal y de su estado en la enfermedad aguda, que se está comprometida en algunas situaciones como el *shock*. El exceso de volumen en pacientes críticos puede ser difícil de cuantificar de forma precisa, y puede tener consecuencias adversas.

Los pacientes en los que se emplea fluidoterapia deben ser correctamente monitorizados con variables clínicas, hemodinámicas y analíticas, como se refleja en la [tabla II](#).

Fluidoterapia en el perioperatorio

En el perioperatorio, la fluidoterapia tiene un importante papel en el resultado quirúrgico, siendo una adecuada prescripción de la misma necesaria en el pre, intra y posoperatorio. Los fármacos que deplecionan el volumen, las preparaciones intestinales para la cirugía del colon o la dieta absoluta son algunas de las causas de pérdidas en el preoperatorio. El aporte oral de bebidas con hidratos de carbono disminuye la sed y la ansiedad preoperatorias, así como la clínica digestiva (náuseas, vómitos) posoperatoria, demostrando también reducir la resistencia insulínica y mejorando la eficacia del soporte nutricional posoperatorio.

En el intraoperatorio, el objetivo principal de la fluidoterapia es mantener una adecuada perfusión tisular, reduciendo esto las complicaciones. Es habitual prolongar el uso de fluidoterapia

TABLA II. MONITORIZACIÓN EN FLUIDOTERAPIA

Signos clínicos	Datos de laboratorio	Parámetros hemodinámicos
• Diuresis, frecuencia cardíaca y presión arterial • Presencia de edemas	• Niveles plasmáticos de glucosa, sodio, potasio, cloro, creatinina y urea	• Presión venosa central • Presión capilar pulmonar de enclavamiento
• Temperatura	• Niveles de osmolaridad plasmática	• Saturación de hemoglobina en sangre venosa mixta (SO₂ vm)
• Nivel del estado de alerta	• Gasometría arterial	• Gasto cardíaco
• D Signo del pliegue cutáneo (en hipovolemia) • Auscultación cardíaca (tercer ruido en hipervolemia)	• Relación nitrógeno ureico / creatinina	• Aporte y consumo de oxígeno

intravenosa después de la cirugía, lo que puede conducir a un aumento de edema intersticial. La respuesta metabólica al estrés quirúrgico incluye la retención hidrosalina para preservar la volemia, aumentando esto el riesgo de edema intersticial cuando se administra exceso de fluidos.

En el caso de pacientes desnutridos, este riesgo se incrementa, pues su realimentación está asociada con retenciones adicionales de agua y sal. El edema intersticial causado por una fluidoterapia inadecuada se malinterpreta a menudo como desnutrición porque el exceso de volumen diluye los niveles plasmáticos de albúmina. Es preciso recordar que la hipoalbuminemia no es un marcador de desnutrición sino de inflamación, ya que la inflamación conlleva un aumento de la permeabilidad vascular con escape de agua, sodio y albúmina al espacio intersticial. En el posoperatorio, cuando la ingesta oral es tolerada, la administración de fluidoterapia intravenosa debería ser discontinuada tan pronto como sea posible, y solamente debe ser reinstaurada si se requiere para mantener el equilibrio hidroelectrolítico.

>> LA FLUIDOTERAPIA Y SU IMPACTO EN LOS RESULTADOS CLÍNICOS

La ausencia de hidratación en el paciente hospitalizado cuando esta es necesaria es perjudicial, ya que causa disminución de la perfusión tisular, fallo renal prerrenal y alteraciones de la coagulación. Sin embargo, la fluidoterapia también supone riesgos, produciéndose iatrogenia por su mal uso, como, por ejemplo, hiponatremia, sobreexpansión del espacio intersticial o acidosis hiperclorémica en el uso de suero salino 0,9 %. La prescripción de la terapia con fluidos es específica del contexto y cualquier administración puede ser dañina si se administra cuando no está indicada²¹.

Actualmente, no existe una solución intravenosa que sea fisiológica; el suero fisiológico o suero al 0,9 % no es fisiológico en relación con el plasma, ya que presenta una osmolaridad y concentración en sodio superiores a este²².

La fluidoterapia prolongada inadecuada se asocia a peores resultados en los pacientes independientemente de otras condiciones como la edad o la patología de base. Un estudio de nuestro

grupo realizado²³ en pacientes en dieta absoluta reflejó que el 27 % de los pacientes ingresados en servicios médicos permanecieron en dieta absoluta con sueros más tiempo del adecuado. Además, los pacientes recibieron un exceso de sodio (+58,4 %) y cloro (+62,2 %) y una administración insuficiente de potasio (-35,1 %). Los pacientes con duración inadecuada del ayuno con sueros tuvieron una estancia hospitalaria más prolongada (22,0 [RIQ = 13,0] *versus* 13,0 [RIQ = 11,0] días; $p = 0,001$).

Algunos de los errores asociados a la fluidoterapia intravenosa suponen la selección incorrecta del fluido que se va a administrar, así como un incorrecto volumen, concentración o administración de electrolitos. La administración de fluidos hipotónicos de mantenimiento se ha relacionado con una alta incidencia de hiponatremia y muchos casos comunicados de muerte o daño neurológico permanente asociado, ya que en situación de enfermedad grave existe una secreción aumentada de ADH que altera la excreción de agua libre²⁴.

Los pacientes con patología aguda que han requerido resucitación intravenosa para restablecer el equilibrio hemodinámico y electrolítico pueden desarrollar algún grado de exceso de agua y electrolitos, teniendo como consecuencia el edema tisular. Con frecuencia, los pacientes con sepsis o estados proinflamatorios tienen incrementada la permeabilidad vascular y en ellos pasa líquido en exceso al espacio intersticial, requiriendo la administración de aún más fluidos para mantener el volumen intravascular. La complicación principal del manejo de líquidos es, por lo tanto, la sobrecarga hídrica yatrogénica: edema pulmonar, fallo cardíaco, exceso de sodio²⁴.

El correcto empleo y la prevención de las complicaciones derivadas de un mal uso de la fluidoterapia intravenosa dependen de los conocimientos en esta materia por parte de los profesionales. Un estudio transversal descriptivo por cuestionario a los facultativos médicos especialistas en medicina interna y cirugía del aparato digestivo muestra que más de un 40 % de los especialistas consideran una necesidad seguir formándose en fluidoterapia intravenosa, especialmente sobre su prescripción. El 90 % de los profesionales prefiere una prescripción individualizada

y perciben la necesidad de diseñar programas de formación en fluidoterapia²⁴. Se necesitan ensayos más amplios para evaluar la eficacia y seguridad de una estrategia conservadora de manejo de líquidos para evitar la sobredosificación innecesaria.

>> RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE HIDRATACIÓN EN PACIENTES HOSPITALIZADOS

En un individuo adulto, se estima que los requerimientos de sodio son 1-2 mmol/kg/día y de agua 25-35 mL/kg/día⁶. Si no hay enfermedad renal ni hiperpotasemia, las necesidades de potasio se establecen en 0,5-1 mmol/kg/día. El objetivo debe ser alcanzar estos requerimientos por la vía más fisiológica posible, que suele ser la oral. Como se ha comentado, se debe restringir la fluidoterapia intravenosa solo a aquellas situaciones en que sea imposible el empleo de vía oral para evitar la yatrogenia.

Si se decide que es necesaria la fluidoterapia intravenosa, las pautas de fluidos deben ser ajustadas a cada caso individualmente, calculando los requerimientos con las indicaciones anteriores. Considerar en el recuento de líquidos no solo lo aportado por vía oral o sueroterapia, sino también los líquidos aportados con la medicación (figura 1), es importante para evitar situaciones de exceso de volumen aportado. Es fundamental ajustar el aporte, especialmente en situaciones de insuficiencia orgánica (insuficiencia cardíaca, insuficiencia renal aguda, insuficiencia hepática), así como realizar balance diario de líquidos, ajustando según el aporte y la pérdida. La monitorización es el punto más importante de la fluidoterapia para evitar tanto la deficiencia como el exceso de agua y electrolitos. Es fundamental una monitorización electrolítica en el manejo de la fluidoterapia en el paciente hospitalizado y conocer los cristaloides para adecuarlos a la situación de cada paciente. Hoy en día es muy controvertido el uso de coloides sintéticos, dados los efectos adversos en pacientes críticos.

En la hemorragia, existe riesgo de daño por el suero salino fisiológico debido a la acidosis hiperclorémica que provoca, siendo una alternativa a valorar las soluciones balanceadas.

El Ringer lactato es el cristaloides de elección para iniciar la reanimación en el paciente crítico, incluidos los pacientes con *shock séptico*¹⁵. El suero salino al 0,9 % es una opción válida para iniciar la reanimación de pacientes críticos incluido *shock séptico*, aunque se recomienda vigilar estrechamente la aparición de acidosis hiperclorémica. La acidosis hiperclorémica, unida al edema intersticial que puede producir el exceso de suero salino 0,9 % en el contexto de inflamación, puede condicionar alteraciones en la motilidad gastrointestinal y peor tolerancia oral. Si se constata la existencia de hipercloremia, se recomienda el empleo de fluidos cuyo contenido en cloro sea menor, como las soluciones balanceadas. Los cristaloides balanceados son, de este modo, respuesta a los problemas hidroelectrolíticos provocados por el suero salino fisiológico.

El Ringer lactato es ligeramente hipotónico, por lo que se debe evitar en situaciones de edema tisular o hipertensión intracraneal, así como en casos de insuficiencia hepática, pues puede acumularse. Es incompatible con hemoderivados al contener calcio. Sin embargo, el Plasmalyte® es compatible con la infusión de hemoderivados al no contenerlo.

El suero salino al 0,9 % es la solución de elección en el caso de alcalosis hipoclorémica o hiperpotasemia grave. Dado su contenido en potasio, es preferible no emplear el Ringer lactato en caso de hiperpotasemia o insuficiencia renal grave¹⁵.

>> ALTERACIONES DEL METABOLISMO HIDROELECTROLÍTICO QUE REQUIEREN MODIFICACIONES EN FLUIDOTERAPIA

Las alteraciones del equilibrio electrolítico basan su tratamiento en el de la causa y en el empleo de fluidoterapia intravenosa. La hiponatremia (generalmente crónica, de más de 48 horas de instauración) es la principal alteración electrolítica encontrada en la práctica clínica^{26,27}. Antes de proceder a su tratamiento con fluidoterapia es importante conocer su causa, así como su gravedad. Puede asociarse a hipovolemia, siendo sus causas más frecuentes pérdidas renales (por uso de diuréticos o déficit de mineralocorticoides) o las pérdidas por vómitos, diarrea, hipersudoración o tercer espacio (pancreatitis, sepsis). Los

diuréticos constituyen una de las causas más comunes de hiponatremia²⁷. Asociada a euvolemia, encontramos como causas más frecuentes el síndrome de secreción inadecuada de ADH (SIADH), insuficiencia suprarrenal secundaria, hipotiroidismo o polidipsia. Recordemos que el SIADH es una entidad frecuente en situaciones de enfermedad y condiciona los aportes de líquidos²⁸. En caso de hipervolemia, algunas causas son la insuficiencia renal avanzada y el hiperaldosteronismo secundario (cirrosis, insuficiencia cardíaca, síndrome nefrótico).

Una persona adulta precisa entre 1-2 mEq Na⁺/kg de peso al día. Un litro de salino 0,9 % supone 154 mEq Na⁺ (muy superior a las necesidades diarias). Dependiendo del diagnóstico y de la gravedad clínica, se debería evitar la infusión de más fluido, o restringirlo. Si hay hipopotasemia, la recuperación del potasio favorece la recuperación del sodio. Es importante corregir la natremia lentamente, suponiendo su corrección rápida riesgo de sobrecarga en casos de fallo renal o cardíaco previo o de desarrollo de mielólisis central pontina²⁹.

La hiperpotasemia puede estar causada por fallo renal grave (filtrado glomerular < 20 mL/min), hipoaldosteronismo, acidosis, diabetes *mellitus* no controlada o por fármacos como los antiinflamatorios no esteroideos, inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina y antagonistas del receptor de angiotensina II. En estas situaciones, el uso de soluciones glucosadas con insulina (glucosado 5 %, glucosalino) puede ayudar a la corrección del potasio, pudiendo asociarse al suero salino isotónico o hipotónico.

La acidosis metabólica puede producirse tras la presencia de diarrea (pérdida intestinal de bicarbonato) o insuficiencia renal. En estas situaciones, la fluidoterapia de elección es el Ringer lactato por la rapidez de corrección de la acidosis. La administración intensa de cloro, como puede ocurrir con el exceso de infusión de suero salino 0,9 %, favorece el desarrollo de acidosis

hiperclorémica. Si la acidosis se debe a cetoacidosis diabética o a traumatismo, la mejor opción es un cristaloiide balanceado (Plasmalyte®) para evitar la hipercloremia. En la alcalosis metabólica, si esta está asociada a hipovolemia (por ejemplo, vómitos o diuréticos de asa o tiazidas), la mejor fluidoterapia es el suero salino al 0,9 % (tiende a provocar acidosis). En pacientes con grandes quemaduras, la fluidoterapia de elección son los cristaloides (salino hipertónico o Plasmalyte®).

>>CONCLUSIÓN

Las necesidades hídricas de los pacientes varían en función de variables como la edad, el sexo o la situación clínica. En el manejo del paciente hospitalizado es fundamental tener presente los requerimientos hídricos, la existencia del equilibrio hidroelectrolítico y las consecuencias de la pérdida del mismo. El exceso y el defecto de la hidratación tienen impacto pronóstico en el paciente hospitalizado. La ausencia de hidratación cuando esta es necesaria es perjudicial, causando disminución de la perfusión tisular o fallo renal prerrenal, entre otras complicaciones. Sin embargo, la fluidoterapia también supone riesgos, produciéndose yatrogenia por su mal uso; la complicación principal del manejo de líquidos es la sobrecarga hídrica, produciéndose edema pulmonar y fallo cardíaco. Por ello, se debe valorar la estricta necesidad de fluidoterapia de forma periódica, al ser perjudicial en exceso. De este modo, la ingesta oral debería comenzarse lo antes posible siempre que la patología y la situación clínica del paciente lo permitan. Cada paciente hospitalizado y cada enfermedad deben ser manejados de forma individualizada, sin existir un protocolo general exacto de fluidoterapia intravenosa para cada cuadro clínico.

Conflicto de intereses

Las autoras declaran no tener ningún conflicto de intereses en relación con el tema de la publicación.

>>BIBLIOGRAFÍA

1. Institute of Medicine: Food and Nutrition Board. Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. Washington, DC: National Academies Press; 2005.
2. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for water. EFSA J. 2010;8(3):1459. DOI: 10.2903/j.efsa.2010.1459

3. Botigué T, Masot O, Miranda J, Nuin C, Viladrosa M, Lavedán A, et al. Prevalence and risk factors associated with low fluid intake in institutionalized older residents. *J Am Med Dir Assoc*. 2019;20(3):317-22. DOI: 10.1016/j.jamda.2018.08.011
4. Volkert D, Beck AM, Faxén-Irving G, Frühwald T, Hooper L, Keller H, et al. ESPEN guideline on nutrition and hydration in dementia - Update 2024. *Clin Nutr*. 2024;43(6):1599-626. DOI: 10.1016/j.clnu.2024.04.039
5. Volkert D, Beck AM, Cederholm T, Cruz-Jentoft A, Hooper L, Kiesswetter E, et al. ESPEN practical guideline: Clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clin Nutr*. 2022;41(4):958-89. DOI: 10.1016/j.clnu.2022.01.024
6. Ballesteros Pomar MD, Polanco Allué I. Capítulo 8. Hidratación en la enfermedad. En: Gil A, editor. *Tratado de Nutrición*. Tomo 5. Nutrición y Enfermedad. 4.^a ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2024. p. 139-48.
7. Mataix J. *Fisiología de la hidratación y nutrición hídrica*. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2008.
8. Arias M. La bioimpedancia como valoración del peso seco y del estado de hidratación. *Diál Traspl*. 2010;31(4):137-9. DOI: 10.1016/S1886-2845(10)00126-8
9. Lukaski HC, Vega Díaz N, Talluri A, Nescolarde L. Classification of hydration in clinical conditions: indirect and direct approaches using bioimpedance. *Nutrients*. 2019;11(4):809. DOI: 10.3390/nu11040809
10. Guyton C, Hall JE. *Tratado de Fisiología Médica*. 12.^a ed. Madrid: Elsevier; 2011.
11. Lacey J, Corbett J, Forni L, Hooper L, Hughes F, Minto G, et al. A multidisciplinary consensus on dehydration: definitions, diagnostic methods and clinical implications. *Ann Med*. 2019;51(3-4):232-51. DOI: 10.1080/07853890.2019.1628352
12. Thornton SN. Thirst and hydration: physiology and consequences of dysfunction. *Physiol Behav*. 2010;100(1):15-21. DOI: 10.1016/j.physbeh.2010.02.026
13. Chevront SN, Kenefick RW. Dehydration: physiology, assessment, and performance effects. *Compr Physiol*. 2014;4(1):257-85. DOI: 10.1002/cphy.c130017
14. Seay NW, Lehrich RW, Greenberg A. Diagnosis and management of disorders of body tonicity—hyponatremia and hypernatremia: core curriculum 2020. *Am J Kidney Dis*. 2020;75(2):272-86. DOI: 10.1053/j.ajkd.2019.07.014
15. Garnacho-Montero J, Fernández-Mondéjar E, Ferrer-Roca R, Herrera-Gutiérrez ME, Lorente JA, Ruiz-Santana S, et al. Cristaloideos y coloides en la reanimación del paciente crítico. *Med Intensiva*. 2015;39(5):303-15. DOI: 10.1016/j.medin.2014.11.002
16. Myburgh JA. Fluid resuscitation in acute medicine: what is the current situation? *J Intern Med*. 2015;277(1):58-68. DOI: 10.1111/joim.12326
17. Dobrescu A, Constantin AM, Pinte L, Chapman A, Ratajczak P, Klerings I, et al. Effectiveness and safety of measures to prevent infections and other complications associated with peripheral intravenous catheters: a systematic review and meta-analysis. *Clin Infect Dis*. 2024;78(6):1640-55. DOI: 10.1093/cid/ciae195
18. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Intravenous fluid therapy in adults in hospital. London: Royal College of Physicians; 2013. Disponible en: <https://www.nice.org.uk/guidance/cg174>
19. Garnacho-Montero J, Fernández-Mondéjar E, Ferrer-Roca R, Herrera-Gutiérrez ME, Lorente JA, Ruiz-Santana S, et al. Cristaloideos y coloides en la reanimación del paciente crítico. *Med Intensiva*. 2015;39(5):303-15. DOI: 10.1016/j.medin.2014.11.002
20. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3). *JAMA*. 2016;315(8):801-10. DOI: 10.1001/jama.2016.0287
21. McDermid RC, Raghunathan K, Romanovsky A, Shaw AD, Bagshaw SM. Controversies in fluid therapy: type, dose and toxicity. *World J Crit Care Med*. 2014;3(1):24-33. DOI: 10.5492/wjccm.v3.i1.24
22. Li H, Sun S, Yap JQ, Chen J, Qian Q. 0.9% saline is neither normal nor physiological. *J Zhejiang Univ Sci B*. 2016;17(3):181-7. DOI: 10.1631/jzus.B1500201
23. Kyriakos G, Calleja-Fernández A, Ávila-Turcios D, Cano-Rodríguez I, Ballesteros Pomar MD, Vidal-Casariago A. Prolonged fasting with fluid therapy is related to poorer outcomes in medical patients. *Nutr Hosp*. 2013;28(6):1710-6. DOI: 10.3305/nh.2013.28.5.6693
24. Lobo DN, Lewington AJP, Allison SP. Basic concepts of fluid and electrolyte therapy. 2.^a ed. 2022 [consultado 27/10/2024]. Disponible en: <https://nottingham-repository.worktribe.com/output/18520015>
25. Lobo DN. Problems with solutions: drowning in the brine of an inadequate knowledge base. *Clin Nutr*. 2001;20(2):125-30. DOI: 10.1054/clnu.2000.0154
26. Adrogué HJ, Tucker BM, Madias NE. Diagnosis and management of hyponatremia: a review. *JAMA*. 2022;328(3):280-91. DOI: 10.1001/jama.2022.11176
27. Liamis G, Milionis H, Elisaf M. A review of drug-induced hyponatremia. *Am J Kidney Dis*. 2008;52(1):144-53. DOI: 10.1053/j.ajkd.2008.03.004
28. Barajas Galindo DE, Fernández Martínez A, Ruiz-Sánchez. Síndrome de secreción inadecuada de hormona antidiurética. En: *Manual de Endocrinología y Nutrición*, 2024 [consultado 11/11/2024]. Disponible en: <https://manual.seen.es/article?id=55114bd4-c9f0-42b4-ac84-2bcdac18103c>
29. Matías-Guiu JA, Molino ÁM, Jorquera M, Jiménez R, Ruiz-Yagüe M. Mielinólisis pontina y extrapontina secundaria a fluctuaciones en la glucemia. *Neurología [Internet]*. 2016;31(5):345-7. DOI: 10.1016/j.nrl.2014.06.005

[r e v i s i ó n]

Aportaciones de la inteligencia artificial en el área de la obesidad

Contributions of artificial intelligence in the field of obesity

Isabel De la Torre Díez¹, Mónica Casas Domínguez¹ y Daniel Antonio de Luis Román^{2,3}

¹Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática, Universidad de Valladolid, Valladolid. España.

²Centro de Investigación de Endocrinología y Nutrición Clínica, Universidad de Valladolid. Valladolid. España. ³Servicio de Endocrinología y Nutrición, Hospital Clínico Universitario de Valladolid. Valladolid. España.

Cómo citar este trabajo

De la Torre Díez I, Casas Domínguez M y De Luis Román DA. Aportaciones de la inteligencia artificial en el área de la obesidad. Nutr Clin Med 2024;18(3):163-184

Palabras clave

Obesidad, inteligencia artificial, machine learning, deep learning.

>>RESUMEN

La obesidad es un problema de salud a nivel mundial, que sigue creciendo y afecta tanto a adultos como a niños en todo el mundo. Este trastorno está relacionado con enfermedades graves como diabetes mellitus, aumento del riesgo cardiovascular y algunos tipos de cáncer. En este contexto, la inteligencia artificial se ha convertido en una herramienta útil para enfrentarse a los desafíos que produce la obesidad, ya que permite el análisis de datos de manera más profunda y detallada, descubriendo patrones y relaciones que antes no eran evidentes, y facilitando una medicina de precisión en estos pacientes. En el presente trabajo se realiza una revisión narrativa para analizar cómo se han aplicado las técnicas de Machine Learning y Deep Learning en la investigación sobre la obesidad con el fin de sintetizar las principales contribuciones que la inteligencia artificial ha ofrecido en este campo. La mayoría de los estudios, un total de 61, se centraron en la predicción de factores de riesgo de obesidad, mientras que hubo menos estudios sobre tratamiento y prevención, con nueve en cada área. Los estudios utilizaron dos enfoques principales del Machine Learning: técnicas clásicas y métodos de ensamblado. La técnica Support Vector Machines fue la más usada en clasificación y predicción, mientras que Regression (regresión logística) y Least Absolute Shrinkage and Selection Operator ayudaron a identificar las variables más importantes. Los métodos Random Forest y Extreme Gradient Boosting fueron los más utilizados en el análisis de datos complejos sobre obesidad. En Deep Learning, las Convolutional Neural Networks y las Recurrent Neural Networks fueron las más comunes, efectivas en el análisis de datos complejos como imágenes y secuencias temporales, mejorando el diagnóstico y la personalización de tratamientos. Además, la herramienta de inteligencia artificial explicable Shapley Additive Explanations fue la más usada para mejorar la interpretación de los modelos, clave en salud. La revisión identificó aportaciones en cuatro áreas principales: predicción

Correspondencia

Isabel De la Torre Díez
Email: isator@uva.es

Obra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
Más información:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



de riesgos, personalización de tratamientos, diagnóstico temprano y análisis de factores biológicos relacionados con la obesidad. Los modelos permitieron identificar a niños en riesgo, estimar el índice de masa corporal (IMC) a partir de fotografías, anticipar la respuesta de los pacientes a distintos tratamientos, prever condiciones como la resistencia a la insulina, y estudiar determinantes biológicos como el microbioma. También ayudan a personalizar tratamientos, como la cirugía bariátrica, al anticipar la pérdida de peso potencial en cada paciente según sus características específicas. Sin duda, todas las herramientas que permite utilizar la inteligencia artificial con los pacientes mejorarán el conocimiento en los pacientes con obesidad, abriendo nuevas posibilidades diagnósticas y terapéuticas.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 163-184

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0004

Key words

Obesity, artificial intelligence, machine learning, deep learning.

<<ABSTRACT

Obesity is a growing global health problem affecting both adults and children worldwide. This disorder is linked to serious diseases such as diabetes mellitus, increased cardiovascular risk and some types of cancer. In this context, artificial intelligence has become a useful tool to face the challenges caused by obesity, as it allows the analysis of data in a deeper and more detailed way, discovering patterns and relationships that were not previously evident and facilitating precision medicine in these patients. This paper conducts a narrative review to analyze how Machine Learning and Deep Learning techniques have been applied in obesity research, in order to synthesize the main contributions that artificial intelligence has offered in this field. The majority of the studies, a total of 61, focused on predicting obesity risk factors, while there were fewer studies on treatment and prevention, with nine in each area. The studies used two main approaches to Machine Learning: classical techniques and ensemble methods. The Support Vector Machines technique was the most used in classification and prediction, while Logistic Regression and Least Absolute Shrinkage and Selection Operator helped identify the most important variables. Random Forest and Extreme Gradient Boosting methods were the most commonly used in the analysis of complex obesity data. In Deep Learning, Convolutional Neural Networks and Recurrent Neural Networks were the most common, effective in the analysis of complex data, such as images and temporal sequences, improving diagnosis and personalization of treatments. In addition, the Artificial Intelligence Tool Explainable: Shapley Additive Explanations was the most widely used tool to improve the interpretation of models, which is key in healthcare. The review identified contributions in four main areas: risk prediction, treatment personalization, early diagnosis and analysis of biological factors related to obesity. The models made it possible to identify children at risk, estimate body mass index from photos, anticipate patients' response to different treatments, predict conditions such as insulin resistance, and study biological determinants such as the microbiome. They also help to personalize treatments, such as bariatric surgery, by anticipating potential weight loss in each patient according to their specific characteristics. Undoubtedly, all the tools that Artificial Intelligence allows us to use with our patients will improve our knowledge of patients with obesity, opening up new diagnostic and therapeutic possibilities.

Nutr Clin Med 2024; 18 (3): 163-184

DOI: 10.7400/NCM.2024.18.3.0004

>>INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud, la obesidad ha aumentado considerablemente desde 1990. En el caso de los adultos se ha duplicado, mientras que entre los adolescentes se ha cuadruplicado. En 2022, este problema afectaba a una de

cada ocho personas en todo el mundo. Además, 2500 millones de adultos tenían sobrepeso, de los cuales 890 millones eran obesos. En cuanto a los niños, 37 millones menores de 5 años tenían sobrepeso, y más de 390 millones de niños y adolescentes entre 5 y 19 años también presentaban sobrepeso, con 160 millones de ellos siendo obesos¹.

Este trastorno aumenta de manera significativa el riesgo de desarrollar enfermedades como la diabetes *mellitus* tipo 2, problemas cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y afecciones relacionadas con los huesos y las articulaciones. Además, la obesidad afecta a la calidad de vida, influyendo en aspectos como el sueño y la movilidad¹.

En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) ha transformado la atención médica, contribuyendo en gran medida a mejorar las decisiones clínicas. Con el incremento masivo de los datos de salud y técnicas avanzadas de análisis, la IA permite analizar grandes volúmenes de datos y detectar patrones, mejorando a su vez la precisión en los diagnósticos².

El Machine Learning (ML) se emplea en tres áreas principales de la medicina: el análisis de imágenes médicas, donde se busca interpretar y mejorar diagnósticos mediante imágenes; el procesamiento del lenguaje natural, que ayuda a entender y clasificar documentos médicos, y el análisis de información genética, que permite profundizar en el estudio del ácido desoxirribonucleico y sus implicaciones³.

El presente artículo lleva a cabo una revisión de tipo narrativo sobre las aportaciones de la IA en el campo de la obesidad. Este tipo de enfoque permite analizar la literatura existente de manera más amplia y general, sin necesidad de seguir una metodología estricta. El objetivo principal de esta revisión es examinar cómo se han aplicado las técnicas de ML y Deep Learning (DL) en la investigación sobre la obesidad, con el fin de sintetizar las principales contribuciones que la IA ha ofrecido en este campo. Al centrarse en publicaciones entre 2020 y 2024, esta revisión pretende ofrecer una visión actualizada del impacto de la IA en la investigación de la obesidad.

En primer lugar se explica el papel de la IA en la medicina, destacando cómo ML y DL permiten analizar datos complejos y personalizados. Posteriormente, se presentan los resultados de la revisión, incluyendo una descripción de la literatura revisada, su distribución según la base de datos y el año de publicación, y su clasificación en áreas como predicción, tratamiento y prevención de la obesidad. También se analiza la frecuencia del uso de las técnicas de IA más empleadas en los estudios. A continuación, se

discute cómo estas técnicas contribuyen a predecir riesgos, optimizar tratamientos, prevenir y diagnosticar a tiempo, además de analizar factores biológicos que influyen en la obesidad. Finalmente, se plantean las conclusiones del estudio.

>>INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA MEDICINA

La medicina evoluciona tan rápido que a los médicos les resulta difícil mantenerse al día con los nuevos avances. Además, se evidencia un aumento de la carga de trabajo y las tareas administrativas, lo que trae consigo un agotamiento del personal de salud y un incremento del riesgo de cometer errores médicos que ponen en peligro la seguridad de los pacientes. Es por ello que, a partir del empleo de algoritmos y *software* que imitan el razonamiento humano para analizar datos médicos, la IA puede contribuir al mejoramiento y el avance del cuidado de la salud⁴.

Hoy en día, la IA se ha integrado en la medicina para mejorar la atención al paciente, acelerando procesos y aumentando la precisión de los diagnósticos, lo que eleva la calidad de la atención médica. En la actualidad, el aprendizaje automático se aplica en áreas como el análisis de imágenes radiológicas, la evaluación de muestras de anatomía patológica y la revisión de registros médicos electrónicos, facilitando el diagnóstico y tratamiento de los pacientes⁵.

Machine Learning

ML es una rama de la IA que reúne varias estrategias analíticas para crear algoritmos capaces de obtener información de los datos, con el objetivo de explicar, clasificar o predecir. Su objetivo es imitar ciertos aspectos del razonamiento humano, como el reconocimiento de patrones y la toma de decisiones. En la medicina, el ML se ha utilizado para mejorar la precisión de diagnósticos, prever la mortalidad hospitalaria y anticipar la necesidad de determinadas terapias⁶.

Existen diversos algoritmos de ML que se utilizan para la predicción, clasificación, agrupamiento y regresión, para aplicaciones médicas. Entre los modelos más utilizados en el análisis de datos médicos se encuentran:

- Support Vector Machines (Máquinas de Soporte Vectorial, SVM).
- Clustering y K-Means Clustering.
- Decision Trees (Árboles de Decisión, DT).
- Random Forests (Bosques Aleatorios, RF).
- K-nearest Neighbors (K-Vecinos más Cercanos, KNN).
- Naïve Bayes (NB).

Estos modelos han demostrado ser efectivos para detectar enfermedades, clasificar imágenes médicas y segmentar poblaciones de riesgo. Su uso ha transformado áreas como la radiología, donde algoritmos como SVM y Random Forests se han empleado para identificar tumores y anomalías en imágenes de forma más rápida y precisa⁷.

Deep Learning

El DL es una rama del ML que utiliza redes neuronales profundas para procesar y analizar grandes volúmenes de datos, aprovechando el poder de las computadoras modernas y el acceso a datos masivos. Este enfoque se ha convertido en algo popular en los últimos años, ya que permite identificar patrones complejos en distintos tipos de datos, como imágenes, texto y señales biomédicas⁸.

Actualmente, los modelos más usados se entrenan de forma supervisada de principio a fin, lo cual simplifica mucho el proceso de aprendizaje. Las arquitecturas más utilizadas para analizar imágenes médicas son las Convolutional Neural Networks (Redes Neuronales Convolucionales, CNN), aunque las Recurrent Neural Networks (Redes Neuronales Recurrentes, RNN) están ganando popularidad. Las CNN son muy útiles para analizar imágenes médicas como radiografías y tomografías, ya que detectan patrones complejos que facilitan diagnósticos precisos. Por otro lado, las RNN, diseñadas para trabajar con datos en secuencia, son ideales para analizar registros médicos a lo largo del tiempo y permiten identificar cambios en patrones o respuestas a tratamientos específicos⁹.

>> RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de esta revisión narrativa sobre la aplicación de la IA en la obesidad, organizados en diferentes subapartados. Se muestran los estudios encon-

trados según las bases de datos utilizadas, los años de publicación y las áreas de enfoque. Además, se analizan las técnicas de ML y DL empleadas, resaltando las tendencias más comunes.

Descripción de la literatura revisada

Para la realización de esta revisión narrativa, y con el objetivo de acceder a los estudios más relevantes y confiables, se utilizaron como fuente de datos las bibliotecas ScienceDirect y PubMed. Estas bases de datos fueron seleccionadas por su importancia en la publicación de artículos relacionados con la salud y la IA.

Para la búsqueda se establecieron como palabras claves: “obesity”, “artificial intelligence”, “machine learning” y “deep learning”. Además, se limitó la búsqueda al período comprendido entre 2020 y 2024, garantizando una revisión más reciente y actual de la literatura existente, ya que en años anteriores se ha detectado un menor número de trabajos.

Con el objetivo de seleccionar los estudios más relevantes relacionados con la investigación, se priorizaron los artículos que abordan directamente la aplicación de la IA (ML y DL) en el campo de la obesidad. Se incluyeron los estudios que utilizaran estas técnicas con el objetivo de predecir posibles riesgos, optimizar tratamientos o desarrollar intervenciones preventivas, y se eliminaron los estudios duplicados.

Durante el proceso de extracción de datos se recopiló la información más relevante de los estudios seleccionados, incluyendo autor, título, resumen y año de publicación. Además, se identificaron los objetivos de cada estudio y se clasificaron en tres áreas: predicción, tratamiento y prevención.

Se realizó un análisis cualitativo de los estudios seleccionados, identificando patrones más significativos, clasificando los estudios según las técnicas de ML y DL que utilizaron. A partir de los resultados del análisis cualitativo, se realiza un análisis cuantitativo para enriquecer los resultados de la revisión.

Distribución de los estudios por base de datos

El proceso de búsqueda de los estudios comenzó en septiembre de 2024. Se identificaron un total

Distribución de los estudios seleccionados según las bases de datos consultadas (ScienceDirect y PubMed).

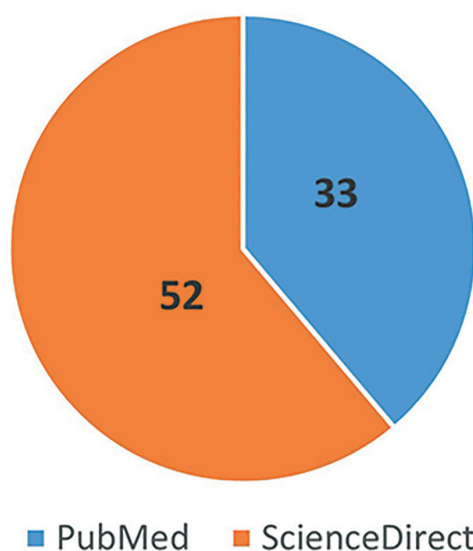


Figura 1. Distribución de los estudios seleccionados según las bases de datos consultadas (ScienceDirect y PubMed). Se muestra el total de artículos recuperados en cada fuente.

de 241 estudios: 122 en ScienceDirect y 119 en PubMed. Se eliminaron en un inicio 31 estudios duplicados, y se descartaron un total de 125 estudios, quedando 85 estudios seleccionados para la revisión. En la figura 1 se muestra la distribución de los estudios seleccionados según la base de datos. Para un desglose detallado de cada estudio, la tabla I presenta la lista completa de los estudios que fueron incluidos en la presente revisión, organizada por referencia, autores, título y año de publicación.

Distribución de los estudios por año

En la figura 2 se muestra la distribución de los estudios seleccionados durante el período de 2020 al 2024. En el gráfico de líneas de esta figura, se observa que en 2020 se publicaron 8 estudios, aumentando a 16 en el 2021. En el año 2022, el número de estudios disminuyó a 9, pero se incrementó nuevamente en el 2023 con 23 estudios, y alcanzó su punto máximo en 2024 con 29 estudios.

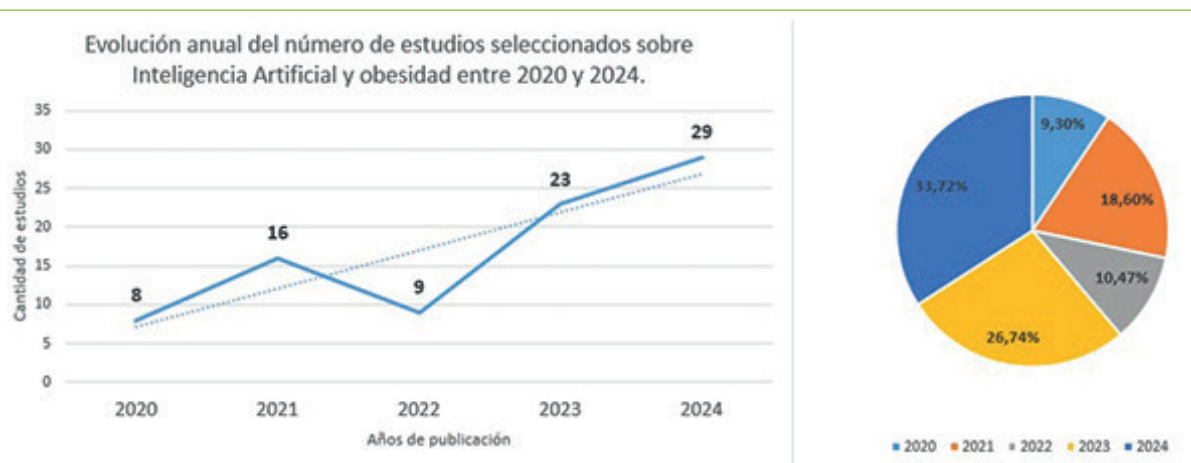


Figura 2. Evolución anual del número de estudios seleccionados sobre inteligencia artificial y obesidad entre 2020 y 2024. Se incluyen datos que representan la tendencia de publicaciones durante este periodo.

En el gráfico circular se ofrece la distribución porcentual de los estudios por año. Estos datos muestran un crecimiento sostenido en los últimos 2 años, que juntos representan más de la mitad del total de los estudios revisados.

Clasificación de los estudios por área de enfoque

La clasificación de los estudios por el área de enfoque se muestra en la figura 3. Como se puede observar, la mayoría de los estudios, 61 en total, se centran en la predicción. Por otro lado, se identificaron 9 estudios enfocados en tratamiento y 9 en prevención.

Además, se encontraron estudios que combinan diferentes enfoques: 4 estudios que abarcan tratamiento y prevención, 1 estudio de predicción y tratamiento, y también 1 estudio de predicción y prevención.

Categorías de inteligencia artificial utilizadas

Se clasificaron los estudios según la categoría de IA empleada, distinguiendo entre ML, DL y la combinación de ambas técnicas. Como se puede observar en la figura 4, la clasificación de los estudios se destaca por su relevancia en el uso de técnicas de ML, con un total de 69 estudios que aplican esta técnica para el desarrollo de sus

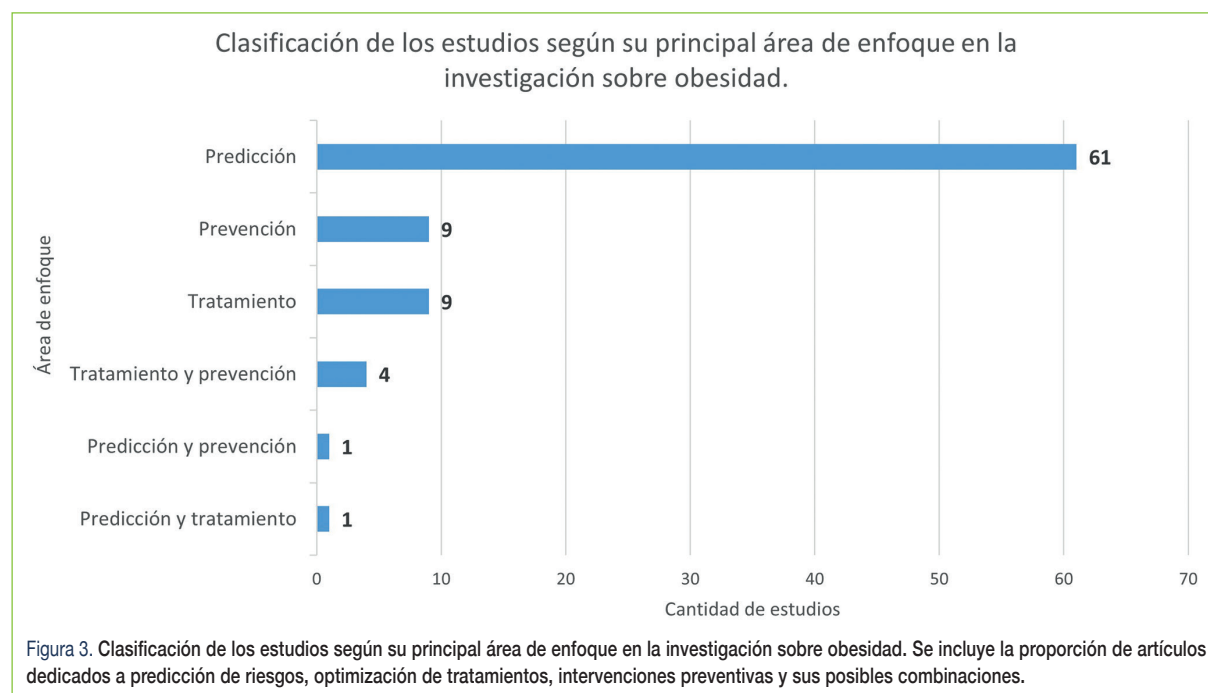
modelos. Por otro lado, se identificaron 8 estudios que aplicaron modelos más complejos de DL. Además, un total de 9 estudios emplearon la combinación de ML y DL, potenciando la capacidad de los modelos desarrollados.

También, además de las categorías principales ML y DL, 8 de los estudios seleccionados emplearon la IA Explicable (XAI) como herramienta de apoyo.

Técnicas específicas de inteligencia artificial

Los estudios revisados se clasificaron con relación a las técnicas de IA empleadas, agrupándolos en diferentes categorías en función de sus características y aplicaciones. Este proceso fue iterativo, a medida que avanzaba la revisión de los estudios se fueron identificando e incorporando nuevas técnicas que no estaban consideradas inicialmente, lo que garantizó una visión más completa de las tecnologías utilizadas. A continuación, se presentan las categorías asignadas:

- ML: se incluyeron los estudios que aplicaron únicamente técnicas de ML en sus modelos. En la figura 5 se muestra un resumen de las técnicas más utilizadas, y a continuación se detalla la clasificación de técnicas de ML empleadas en cada caso.



Proporción de estudios clasificados según el tipo de técnica de Inteligencia Artificial utilizada (Machine Learning o Deep Learning) en la investigación sobre obesidad.

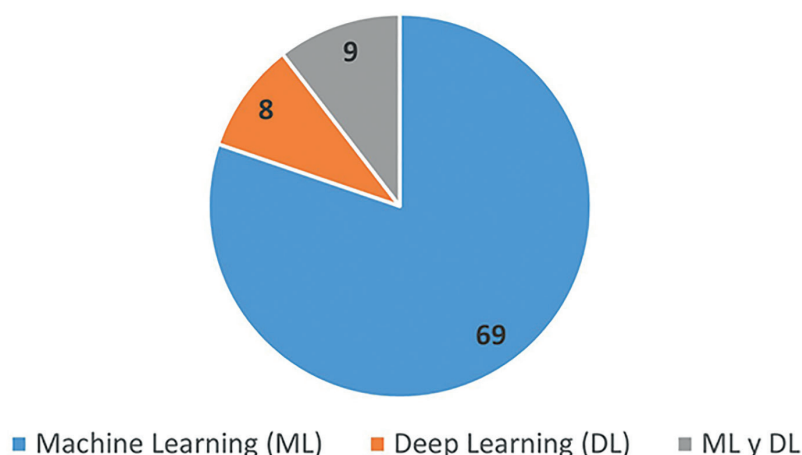


Figura 4. Proporción de estudios clasificados según el tipo de técnica de inteligencia artificial utilizada (Machine Learning o Deep Learning) en la investigación sobre obesidad. Se presentan dos categorías principales: Machine Learning (ML) y Deep Learning (DL), mostrando su frecuencia relativa en los estudios seleccionados.

Distribución de las técnicas de Machine Learning más utilizadas en los estudios analizados, incluyendo algoritmos específicos y su frecuencia de uso.

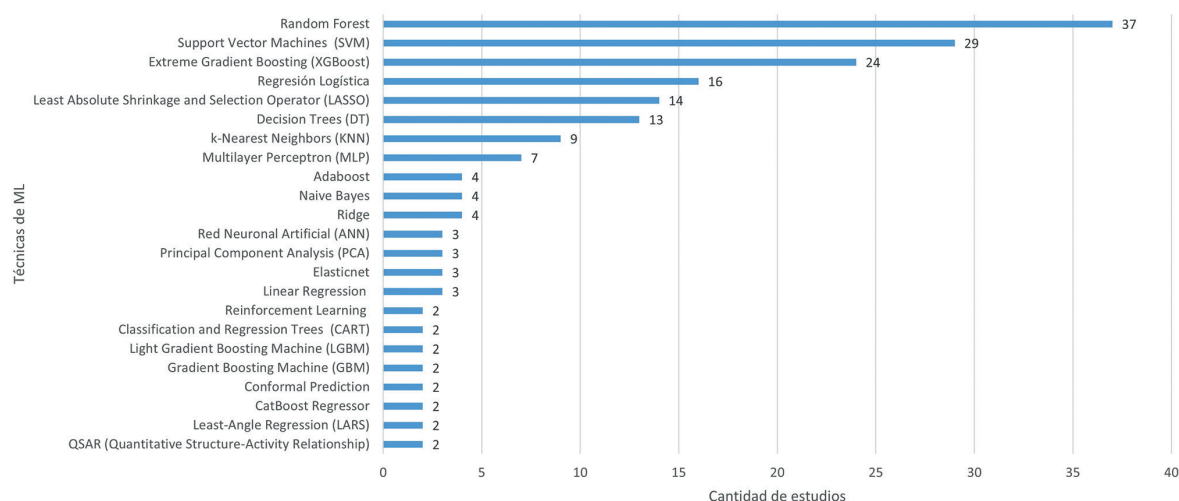


Figura 5. Distribución de las técnicas de Machine Learning más utilizadas en los estudios analizados, incluyendo algoritmos específicos y su frecuencia de uso.

– Técnicas clásicas de ML: se incluyeron los algoritmos tradicionales, que fueron ampliamente utilizados en los estudios. La técnica SVM fue la más usada, apareciendo en 29 estudios. La Logistic Regression fue también común, con 16 estudios que la aplicaron, mientras que el método LASSO se utilizó en 14 estudios para la selección de características

relevantes. Los Decision Trees se utilizaron en 13 estudios. Finalmente, el algoritmo K-Nearest Neighbors se utilizó en 9 estudios, destacándose en tareas de clasificación y análisis de proximidad.

– Se emplearon otras técnicas en menor frecuencia, como Ridge (Regresión Regularizada), Naïve Bayes, Linear Regression

(Regresión Lineal), ElasticNet, Quantitative Structure-Activity Relationship (QSAR) y Least-Angle Regression (LARS).

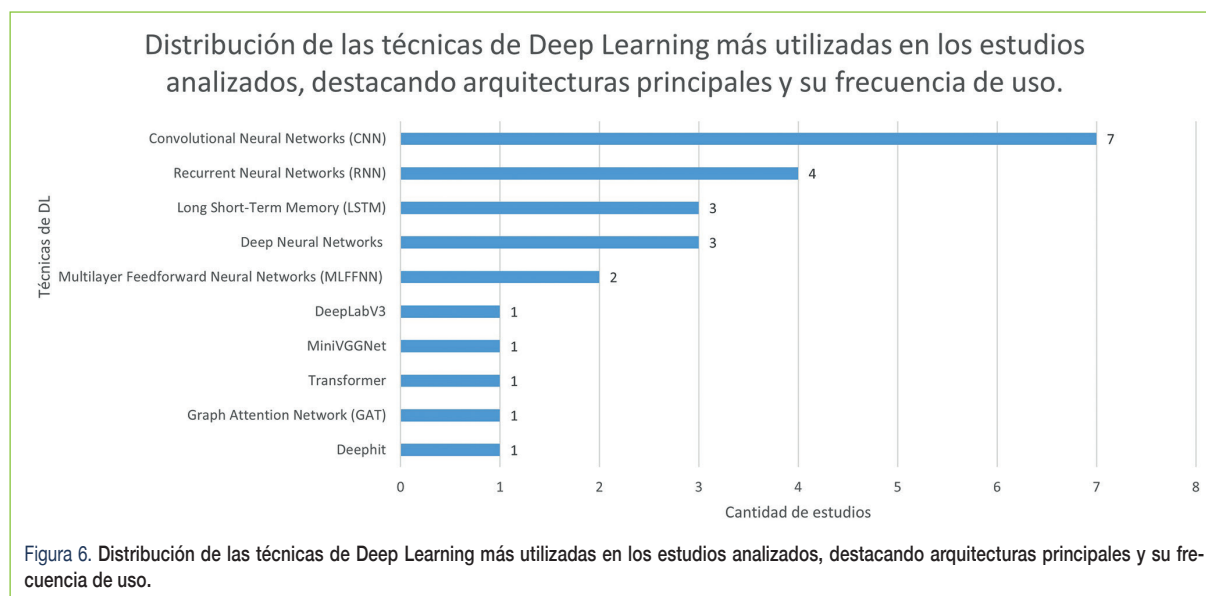
- Algoritmos no supervisados: se incluyeron los algoritmos de aprendizaje no supervisados encontrados en la revisión de los estudios. El Principal Component Analysis (Análisis de Componentes Principales) fue el más utilizado, aplicándose en 3 estudios. Otros métodos, como Clustering, el algoritmo de Selección de Características de Spearman y Cluster Optimization (Optimización por Clústeres), se utilizaron en un solo estudio cada uno.
- Métodos de ensamblado: se incluyeron los métodos de ensamblado que combinan varios modelos para mejorar la precisión de las predicciones. En los estudios revisados, el Random Forests fue el más empleado, apareciendo en 37 estudios, mientras que el XGBoost se utilizó en 24 estudios. AdaBoost se empleó en 4 estudios, mientras que los métodos CatBoost Regressor, Bagging, Bootstrap Forest y RUSBoosted Trees, se utilizaron en un solo estudio cada uno.
- Técnicas de optimización y selección de características: estas técnicas se utilizaron en los estudios para mejorar la precisión de los modelos al seleccionar las variables más relevantes. La más utilizada fue Conformal Prediction en 2 de los estudios. Otras técnicas, como el Whale Optimization Algorithm (WOA) y Recursive Feature Elimination (RFE), se utilizaron en un estudio cada una.
- Redes neuronales: en los estudios seleccionados, se emplearon varias arquitecturas de redes neuronales. El Multilayer Perceptron (Perceptrón Multicapa, MLP) fue el más utilizado, apareciendo en 7 estudios. La Artificial Neural Network (Red Neuronal Artificial, ANN) se empleó en 3 estudios, mientras que otras variantes, como las Redes de Retropropagación y la Heterogeneous Mixture Learning Technology (Tecnología de Aprendizaje de Mezcla Heterogénea, HMLT), se usaron en un estudio cada una.
- Técnicas híbridas y aplicaciones múltiples: algunos estudios utilizaron técnicas híbridas para mejorar el rendimiento de los modelos. Las técnicas Gradient Boosting Machine (GBM) y Light Gradient Boosting Machine (LGBM) fueron las más empleadas, cada una apareciendo en 2 estudios. Además, el

Random Survival Forest (RSF) se utilizó en un estudio.

- Técnicas específicas o variantes: algunos estudios utilizaron técnicas específicas para mejorar sus modelos. Los Classification and Regression Trees (Árboles de Clasificación y Regresión, CART) fueron los más comunes en esta categoría, apareciendo en 2 estudios. Otras técnicas, como el K-Means Clustering combinado con Dynamic Time Warping (DTW) y el Leave-One-Out Cross Validation (LOO-CV), se emplearon en un estudio cada una.
- Técnicas de DL: se incluyeron los estudios que aplicaron varias técnicas de redes neuronales profundas. Las CNN fueron las más comunes, utilizadas en 7 estudios para el análisis de datos complejos, como imágenes. Las RNN, empleadas en 4 estudios, se utilizaron principalmente para analizar datos secuenciales. Las Deep Neural Networks (Redes Neuronales Profundas, DNN) y la variante Long Short-Term Memory (LSTM), cada una utilizada en 3 estudios, permitieron capturar patrones en secuencias de datos extensas. Las Multilayer Feedforward Neural Networks (Redes Neuronales de Retropropagación Multicapa, MLFFNN) se aplicaron en 2 estudios como una arquitectura versátil de redes profundas.
- Otras técnicas de DL, como DeePhit, Graph Attention Network (GAT), Transformer, MiniVGGNet y DeepLabV3, se usaron en un estudio cada una. En la figura 6 se muestra un resumen de las principales técnicas de DL empleadas en los estudios.
- XAI: para mejorar la interpretabilidad de los modelos, algunos estudios utilizaron herramientas de XAI. La técnica SHapley Additive exPlanations (SHAP) fue la más utilizada, apareciendo en 8 estudios. Partial Dependence Plots (PDP) se usó en 2 estudios, mientras que Permutation Importance se aplicó en un estudio.

>> DISCUSIÓN

Esta revisión narrativa analizó el uso de la IA en el campo de la obesidad, centrada en estudios que aplicaron ML y DL para la predicción, tratamiento y prevención. El resultado de la distribución de los estudios refleja la importancia de usar



varias fuentes para investigar temas complejos, como la aplicación de IA en la obesidad. De los 241 estudios iniciales, se seleccionaron un 35,3 % al priorizar calidad y relevancia.

Se evidencia un crecimiento en la publicación de estudios sobre el uso de IA en obesidad entre 2020 y 2024. En 2020 solo se publicaron 8 estudios, lo que refleja un interés inicial en el tema. Sin embargo, en 2023 y 2024, especialmente, hubo un aumento significativo, llegando a 29 estudios en 2024. Esto puede deberse a los avances en tecnologías de IA, como ML y DL, y a un interés mayor en la salud tras la pandemia de COVID-19. La necesidad de herramientas que predigan riesgos y ayuden en la prevención de enfermedades como la obesidad también ha impulsado este crecimiento reciente.

La mayoría de los estudios (61 en total) se centraron en la predicción de factores de riesgo de obesidad, reflejando la utilidad de la IA para identificar patrones complejos y hacer predicciones de riesgo. Los estudios sobre tratamiento y prevención fueron menos frecuentes (9 en cada área), posiblemente debido a que estos modelos son más complejos de implementar en la práctica clínica.

Algunos estudios combinan enfoques como tratamiento y prevención o predicción y tratamiento, aunque son pocos (6 en total). Estos trabajos sugieren que la IA podría usarse de forma

integral no solo para identificar riesgos, sino también para tratar y prevenir la obesidad.

Por otro lado, se destacan dos enfoques principales de ML: las técnicas clásicas y los métodos de ensamblado. Entre las técnicas clásicas, las SVM fueron las más usadas, con 29 estudios que las aplicaron para tareas de clasificación y predicción de riesgo. La LR y LASSO también aparecieron con frecuencia, ya que ayudan a identificar las variables clave en los datos de salud, siendo utilizadas en 16 y 14 estudios, respectivamente.

Los métodos de ensamblado, como Random Forests y XGBoost, se emplearon en 37 y 24 estudios cada uno. Estos modelos combinan múltiples algoritmos para mejorar la precisión y son muy útiles cuando los datos son complejos o variados, algo común en el estudio de la obesidad.

En los estudios de DL revisados, las CNN fueron las más comunes, aplicadas en 7 estudios para analizar datos complejos como imágenes. Las RNN, con 4 estudios, se usaron para datos secuenciales, y técnicas como DNN y LSTM también se emplearon para capturar patrones en datos largos.

Por otro lado, la herramienta de XAI SHAP fue la más utilizada para mejorar la interpretación de los modelos, algo fundamental en el contexto de salud.

Aportaciones de Machine Learning y Deep Learning en los estudios seleccionados en obesidad

En esta revisión, se destacan las principales contribuciones de las técnicas de ML y DL en cuatro áreas principales: predicción de riesgos, optimización de tratamientos, prevención y diagnóstico temprano, y análisis de factores relacionados con la obesidad.

Predicción de riesgos

Algunos estudios han creado modelos de aprendizaje profundo para predecir la obesidad en niños usando datos de salud y características como peso, altura, etnicidad y nivel socioeconómico¹⁰⁻¹⁵. Estos modelos pueden analizar grandes cantidades de información y ayudan a identificar a niños con riesgo de obesidad. Otros estudios han usado redes neuronales para estimar el IMC a partir de fotografías de la cara, lo que permite detectar la obesidad de forma rápida y sin necesidad de equipos especiales^{16,17}.

También se han desarrollado modelos predictivos para predecir si una mujer con obesidad necesitará cesárea durante su ingreso hospitalario. Estos modelos buscan reducir las complicaciones durante el parto y mejorar la planificación de intervenciones médicas en esta población de alto riesgo^{18,19}.

Además, un estudio ha utilizado datos de ventas de alimentos y bebidas para estimar los niveles de obesidad en varios países basándose en patrones de consumo. Esto ayuda a obtener información valiosa para programas de salud pública y la prevención de la obesidad a nivel mundial²⁰.

Optimización de tratamientos

Varios estudios han creado modelos que ayudan a anticipar cómo responderán los pacientes a tratamientos como la cirugía bariátrica o ciertos medicamentos. Estos modelos permiten a los médicos ajustar los tratamientos a cada paciente, aumentando con ello su efectividad y reduciendo efectos secundarios. Por ejemplo, algunos estudios han usado ML para predecir cuánto peso corporal puede perder un paciente después de una cirugía bariátrica, basándose en datos previos de cada paciente²¹⁻²⁵.

Un estudio aplicó modelos de IA para analizar perfiles de proteínas y predecir cómo responderán los pacientes al entrenamiento físico de alta intensidad, lo cual es útil para personas con sobrepeso y prediabetes²⁶.

También se han desarrollado sistemas que optimizan el uso de medicamentos para la obesidad, recomendando el fármaco más adecuado como sibutramina, liraglutida y metformina, según las características de cada paciente, lo que mejora los resultados y reduce costos²⁸.

Prevención y diagnóstico temprano

Se han usado algoritmos de ML para predecir la resistencia a la insulina en niños, una condición que a menudo ocurre antes de la obesidad y el síndrome metabólico^{29,30}. Con datos biológicos, estos modelos pueden identificar a los niños en riesgo durante la pubertad, lo que permite intervenir a tiempo y prevenir problemas metabólicos futuros.

Algunos estudios han aplicado IA para identificar factores de riesgo específicos en adultos, como la circunferencia de cintura^{31,32} y otros indicadores metabólicos³³. Por ejemplo, el uso de DL para medir automáticamente el volumen del tejido adiposo epicárdico en angiografías ha mejorado la detección temprana de riesgos cardiovasculares en personas con obesidad³⁴.

Algunos modelos predictivos permiten estimar la grasa corporal³⁶⁻³⁸ y otros indicadores de salud con más precisión que el IMC tradicional, ayudando a detectar riesgos cardiometabólicos de manera temprana^{39,40}. Estos modelos ofrecen una evaluación más completa y detallada de la salud de cada persona, lo cual es clave para prevenir problemas cardiovasculares y metabólicos.

De forma más específica, se han desarrollado modelos que evalúan, según el sexo, el volumen de tejido adiposo visceral, tejido adiposo subcutáneo abdominal y músculo libre de grasa en el muslo³⁵. Esto permite una medición mucho más precisa de los riesgos cardiometabólicos, superando las limitaciones del IMC y la circunferencia de la cintura.

Por ejemplo, se ha implementado un modelo de IA basado en señales de electrocardiografía para

predecir el porcentaje de grasa corporal, ofreciendo una alternativa rápida y económica frente a métodos tradicionales como la absorciometría de rayos X de energía dual⁴¹.

Análisis de factores relacionados con la obesidad

En algunos estudios, la IA se ha utilizado para investigar la relación entre el microbioma intestinal y la obesidad, identificando patrones en los datos del microbioma que podrían predecir el riesgo de obesidad o enfermedades relacionadas⁴²⁻⁴⁶. También se han creado modelos de XAI para estudiar la relación entre ciertas moléculas en el cuerpo, llamadas adipocitocinas, y el riesgo de cáncer de mama en mujeres con obesidad, lo cual podría ayudar a identificar nuevos biomarcadores para prevenir el cáncer en personas con obesidad⁴⁷.

En cuanto a los hábitos de salud, la IA se ha aplicado para analizar cómo el uso de aplicaciones de salud influye en la pérdida de peso corporal⁴⁸⁻⁵⁰. Por ejemplo, se han utilizado RNN para predecir cambios de peso según la frecuencia de registro de alimentos y ejercicio en aplicaciones de pérdida de peso, personalizando las recomendaciones²⁷. Estos estudios han demostrado que ciertos patrones de autocontrol, como registrar alimentos y ejercicio, están muy ligados al éxito en la pérdida de peso corporal. Al identificar estos patrones, los modelos de IA pueden personalizar las recomendaciones y mejorar los resultados en programas de control de peso.

>>CONCLUSIONES

Esta revisión narrativa demuestra cómo las técnicas de ML y DL están contribuyendo significativamente en el aumento del conocimiento de la obesidad en áreas clave como predicción de riesgos, personalización de tratamientos, pre-

vención y diagnóstico temprano, y análisis de nuevos determinantes biológicos.

Los modelos de ML y DL han facilitado la predicción del riesgo de obesidad, especialmente en niños, permitiendo intervenciones tempranas para evitar futuras complicaciones. También ayudan a personalizar tratamientos, como la cirugía bariátrica, al anticipar la pérdida de peso corporal potencial en cada paciente según sus características específicas.

En prevención y diagnóstico temprano, los algoritmos han demostrado ser efectivos para detectar condiciones asociadas, como la resistencia a la insulina en niños, permitiendo intervenir antes de que aparezcan problemas más graves, como el síndrome metabólico y la diabetes *mellitus*. Otro aporte importante ha sido en el análisis de factores biológicos, como el microbioma intestinal, identificando nuevos determinantes biológicos relacionados con la obesidad y nuevos biomarcadores de riesgo.

Entre las técnicas de ML más utilizadas destacan las SVM, la LR y el método LASSO, que han sido efectivas en la identificación de factores de riesgo. También se emplearon métodos de ensamblado como Random Forests y XGBoost, que mejoran la precisión de los modelos predictivos.

En DL, las CNN y las RNN se usaron ampliamente para analizar datos complejos y patrones secuenciales, lo cual es útil en diagnósticos tempranos y personalización de tratamientos. Además, las herramientas de XAI, como SHAP, facilitaron la interpretación de estos modelos complejos, ayudando a los profesionales de la salud a entender mejor los factores de riesgo clave.

Conflicto de intereses

Los autores expresan que no existen conflictos de interés al redactar el manuscrito.

>>BIBLIOGRAFÍA

1. Obesidad y sobrepeso [Internet]. [citado 2024 Oct 8]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight#:~:text=En 2022, una de cada ocho personas en el mundo>
2. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and Vascular Neurology*. 2017 Dec;2(4):230-43.
3. Azghadi MR, Lammie C, Eshraghian JK, Payvand M, Donati E, Linares-Barranco B, et al. Hardware Implementation of Deep Network Accelerators Towards Healthcare and Biomedical Applications. *IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems*. 2020 Dec;14(6):1138-59.

4. Lanzagorta-Ortega D, Carrillo-Pérez DL, Carrillo-Esper R. Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. *Gaceta Médica de México*. 2023 Jun 2;158(91).
5. Ávila-Tomás JF, Mayer-Pujadas MA, Quesada-Varela VJ. La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas. *Atención Primaria*. 2021 Jan;53(1):81-8.
6. Pedrero V, Reynaldós-Grandón K, Ureta-Achurra J, Cortez-Pinto E. Generalidades del Machine Learning y su aplicación en la gestión sanitaria en Servicios de Urgencia. *Revista médica de Chile*. 2021 Feb;149(2):248-54.
7. Garg A, Mago V. Role of machine learning in medical research: A survey. *Computer Science Review*. 2021 May; 40:100370.
8. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, Kuleshov V, DePristo M, Chou K, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nature Medicine*. 2019 Jan 7;25(1):24-9.
9. Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Medical Image Analysis*. 2017 Dec; 42:60-88.
10. Gupta M, Eckrich D, Bunnell HT, Phan TLT, Beheshti R. Reliable prediction of childhood obesity using only routinely collected EHRs may be possible. *Obesity Pillars*. 2024 Dec; 12:100128.
11. Lim H, Lee H, Kim J. A prediction model for childhood obesity risk using the machine learning method: a panel study on Korean children. *Scientific Reports*. 2023 Jun 21;13(1):10122.
12. Cheng ER, Cengiz AY, Miled Z Ben. Predicting body mass index in early childhood using data from the first 1000 days. *Sci Rep [Internet]*. 2023 May 31;13(1):8781. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-35935-6>
13. Pang X, Forrest CB, Lê-Scherban F, Masino AJ. Prediction of early childhood obesity with machine learning and electronic health record data. *Int J Med Inform [Internet]*. 2021 Jun; 150:104454. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1386505621000800>
14. Marcos-Pasero H, Colmenarejo G, Aguilar-Aguilar E, Ramírez de Molina A, Reglero G, Loria-Kohen V. Ranking of a wide multidomain set of predictor variables of children obesity by machine learning variable importance techniques. *Sci Rep [Internet]*. 2021 Jan 21;11(1):1910. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-81205-8>
15. Zare S, Thomsen MR, Nayga RM, Goudie A. Use of Machine Learning to Determine the Information Value of a BMI Screening Program. *Am J Prev Med [Internet]*. 2021 Mar;60(3):425–33. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749379720305134>
16. Pantanowitz A, Cohen E, Gradidge P, Crowther NJ, Aharonson V, Rosman B, et al. Estimation of Body Mass Index from photographs using deep Convolutional Neural Networks. *Inform Med Unlocked [Internet]*. 2021; 26:100727. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352914821002069>
17. Wang Y, Jin Z, Huang J, Lu H, Wang W. Facial Landmark based BMI Analysis for Pervasive Health Informatics. In: 2023 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) [Internet]. IEEE; 2023. p. 1–5. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10340239/>
18. Kolli R, Razzaghi T, Pierce S, Edwards RK, Maxted M, Parikh P. Predicting cesarean delivery among gravidas with morbid obesity—a machine learning approach. *AJOG Global Reports [Internet]*. 2023 Nov;3(4):100276. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S266657782300117X>
19. Lodi M, Poterie A, Exarchakis G, Brien C, Lafaye de Micheaux P, Deruelle P, et al. Prediction of cesarean delivery in class III obese nulliparous women: An externally validated model using machine learning. *J Gynecol Obstet Hum Reprod [Internet]*. 2023 Sep;52(7):102624. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2468784723000910>
20. Dunstan J, Aguirre M, Bastías M, Nau C, Glass TA, Tobar F. Predicting nationwide obesity from food sales using machine learning. *Health Informatics J [Internet]*. 2020 Mar 19;26(1):652–63. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1460458219845959>
21. Lenér F, Höskuldssdóttir G, Landin-Wilhelmsen K, Björkelund C, Eliasson B, Fändriks L, et al. Anaemia in patients with self-reported use of iron supplements in the Bariatric surgery SUBstitution and nutrition study: A prospective cohort study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2023 May;33(5):998-1006.
22. Kozarzewski L, Maurer L, Mähler A, Spranger J, Weygandt M. Computational approaches to predicting treatment response to obesity using neuroimaging. *Rev Endocr Metab Disord [Internet]*. 2022 Aug 23;23(4):773–805. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s11154-021-09701-w>
23. Zhang W, Ji G, Manza P, Li G, Hu Y, Wang J, et al. Connectome-Based Prediction of Optimal Weight Loss Six Months After Bariatric Surgery. *Cerebral Cortex [Internet]*. 2021 Mar 31;31(5):2561–73. Disponible en: <https://academic.oup.com/cercor/article/31/5/2561/6043815>
24. Ochs V, Tobler A, Wolleb J, Bieder F, Saad B, Enodien B, et al. Development of predictive model for predicting postoperative BMI and optimize bariatric surgery: a single center pilot study. *Surgery for Obesity and Related Diseases [Internet]*. 2024 Jul; Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1550728924006804>
25. Ben Izhak M, Eshel A, Cohen R, Madar-Shapiro L, Meiri H, Wachtel C, et al. Projection of Gut Microbiome Pre- and Post-Bariatric Surgery To Predict Surgery Outcome. Chia N, editor. *mSystems [Internet]*. 2021 Jun 29;6(3). Disponible en: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/mSystems.01367-20>
26. Díaz-Canestro C, Chen J, Liu Y, Han H, Wang Y, Honoré E, et al. A machine-learning algorithm integrating baseline serum proteomic signatures predicts exercise responsiveness in overweight males with prediabetes. *Cell Reports Medicine*. 2023 Feb;4(2):100944.

27. Kim HH, Kim Y, Park YR. Interpretable Conditional Recurrent Neural Network for Weight Change Prediction: Algorithm Development and Validation Study. *JMIR Mhealth Uhealth* [Internet]. 2021 Mar 29;9(3):e22183. Disponible en: <https://mhealth.jmir.org/2021/3/e22183>
28. Zhukova I V., Derevitskii I V., Matveev GA, Golikova TI, Babenko AYU. Predictive Modeling for Decision Support in the Tasks of Selecting the Drug for Obesity Treatment. *Procedia Comput Sci* [Internet]. 2021;193:371–81. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050921020792>
29. Torres-Martos Á, Anguita-Ruiz A, Bustos-Aibar M, Ramírez-Mena A, Arteaga M, Bueno G, et al. Multiomics and eXplainable artificial intelligence for decision support in insulin resistance early diagnosis: A pediatric population-based longitudinal study. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2024 Oct;156:102962.
30. Torres-Martos Á, Bustos-Aibar M, Ramírez-Mena A, Cámara-Sánchez S, Anguita-Ruiz A, Alcalá R, et al. Omics Data Preprocessing for Machine Learning: A Case Study in Childhood Obesity. *Genes (Basel)* [Internet]. 2023 Jan 18;14(2):248. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4425/14/2/248>
31. Lima LDB, Teixeira S, Bordalo V, Lacoste S, Guimond S, Sousa DL, et al. A scale-equivariant CNN-based method for estimating human weight and height from multi-view clinic silhouette images. *Expert Systems with Applications*. 2024 Dec;256:124879.
32. Harris C, Olshvang D, Chellappa R, Santhanam P. Obesity prediction: Novel machine learning insights into waist circumference accuracy. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews* [Internet]. 2024 Aug;18(8):103113. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871402124001747>
33. Deng X, Qiu L, Sun X, Li H, Chen Z, Huang M, et al. Early prediction of body composition parameters on metabolically unhealthy in the Chinese population via advanced machine learning. *Front Endocrinol (Lausanne)* [Internet]. 2023 Aug 29;14. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2023.1228300/full>
34. West HW, Siddique M, Williams MC, Volpe L, Desai R, Lyasheva M, et al. Deep-Learning for Epicardial Adipose Tissue Assessment With Computed Tomography. *JACC Cardiovasc Imaging* [Internet]. 2023 Jun;16(6):800–16. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1936878X22007227>
35. Lu Y, Shan Y, Dai L, Jiang X, Song C, Chen B, et al. Sex-specific equations to estimate body composition: Derivation and validation of diagnostic prediction models using UK Biobank. *Clinical Nutrition* [Internet]. 2023 Apr;42(4):511–8. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261561423000341>
36. Uçar MK, Uçar Z, Köksal F, Daldal N. Estimation of body fat percentage using hybrid machine learning algorithms. *Measurement* [Internet]. 2021 Jan;167:108173. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263224120307119>
37. Fan Z, Gou J. Predicting body fat using a novel fuzzy-weighted approach optimized by the whale optimization algorithm. *Expert Syst Appl* [Internet]. 2023 May;217:119558. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417423000593>
38. Chiong R, Fan Z, Hu Z, Chiong F. Using an improved relative error support vector machine for body fat prediction. *Comput Methods Programs Biomed* [Internet]. 2021 Jan;198:105749. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169260720315820>
39. Nana A, Staynor JMD, Arlai S, El-Sallam A, Dhungel N, Smith MK. Agreement of anthropometric and body composition measures predicted from 2D smartphone images and body impedance scales with criterion methods. *Obesity Research & Clinical Practice*. 2022 Jan;16(1):37–43.
40. Tian IY, Wong MC, Nguyen WM, Kennedy S, McCarthy C, Kelly NN, et al. Automated body composition estimation from device-agnostic 3D optical scans in pediatric populations. *Clinical Nutrition*. 2023 Sep;42(9):1619–30.
41. Uçar MK, Uçar Z, Uçar K, Akman M, Bozkurt MR. Determination of body fat percentage by electrocardiography signal with gender based artificial intelligence. *Biomed Signal Process Control* [Internet]. 2021 Jul;68:102650. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1746809421002470>
42. Dong TS, Mayer EA, Osadchiy V, Chang C, Katzka W, Lagishetty V, et al. A Distinct Brain-Gut-Microbiome Profile Exists for Females with Obesity and Food Addiction. *Obesity* [Internet]. 2020 Aug 22;28(8):1477–86. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/oby.22870>
43. Salazar N, Ponce-Alonso M, Garriga M, Sanchez-Carrillo S, Hernández-Barranco AM, Redruello B, et al. Fecal Metabolome and Bacterial Composition in Severe Obesity: Impact of Diet and Bariatric Surgery. *Gut Microbes* [Internet]. 2022 Dec 31;14(1). Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19490976.2022.2106102>
44. Liu Y, Wang Y, Ni Y, Cheung CKY, Lam KSL, Wang Y, et al. Gut Microbiome Fermentation Determines the Efficacy of Exercise for Diabetes Prevention. *Cell Metab* [Internet]. 2020 Jan;31(1):77–91.e5. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1550413119306084>
45. Liu W, Fang X, Zhou Y, Dou L, Dou T. Machine learning-based investigation of the relationship between gut microbiome and obesity status. *Microbes Infect* [Internet]. 2022 Mar;24(2):104892. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1286457921001143>
46. Ali S, Na R, Waterhouse M, Jordan SJ, Olsen CM, Whiteman DC, et al. Predicting obesity and smoking using medication data: A machine-learning approach. *Pharmacoepidemiol Drug Saf* [Internet]. 2022 Jan 17;31(1):91–9. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pds.5367>

47. Idrees M, Sohail A. Explainable machine learning of the breast cancer staging for designing smart biomarker sensors. *Sensors International* [Internet]. 2022;3:100202. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S266635112200047X>
48. Khater T, Tawfik H, Singh B. Explainable artificial intelligence for investigating the effect of lifestyle factors on obesity. *Intelligent Systems with Applications* [Internet]. 2024 Sep;23:200427. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667305324001017>
49. Woo S, Jung S, Lim H, Kim Y, Park KH. Exploring the Effect of the Dynamics of Behavioral Phenotypes on Health Outcomes in an mHealth Intervention for Childhood Obesity: Longitudinal Observational Study. *J Med Internet Res* [Internet]. 2023 Aug 17;25:e45407. Disponible en: <https://www.jmir.org/2023/1/e45407>
50. Liu Y, Cao S. The analysis of aerobics intelligent fitness system for neurorobotics based on big data and machine learning. *Heliyon* [Internet]. 2024 Jun;10(12):e33191. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405844024092223>
51. Valeanu A, Margina D, Weber D, Stuetz W, Moreno-Villanueva M, Dollé MET, et al. Development and validation of cardiometabolic risk predictive models based on LDL oxidation and candidate geromarkers from the MARK-AGE data. *Mechanisms of Ageing and Development*. 2024 Dec;222:111987.
52. Glasbrenner C, Höchsmann C, Pieper CF, Wasserfurth P, Dorling JL, Martin CK, et al. Prediction of individual weight loss using supervised learning: findings from the CALERIETM 2 study. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2024 Sep;
53. Khater T, Tawfik H, Singh B. Explainable artificial intelligence for investigating the effect of lifestyle factors on obesity. *Intelligent Systems with Applications*. 2024 Sep;23:200427.
54. Jiang YC, Lai K, Muirhead RP, Chung LH, Huang Y, James E, et al. Deep serum lipidomics identifies evaluative and predictive biomarkers for individualized glycemic responses following low-energy diet-induced weight loss: a PRE-Vention of diabetes through lifestyle Intervention and population studies in Europe and around. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2024 Oct;120(4):864-78.
55. Wu Q, Wei H, Lu C, Chi X, Li R, Zhao Q. Establishment of precise prevention strategies for the occurrence and progression of coronary atherosclerotic heart disease using machine learning. *Heliyon*. 2024 Aug;10(15):e35797.
56. Harris C, Olshvang D, Chellappa R, Santhanam P. Obesity prediction: Novel machine learning insights into waist circumference accuracy. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2024 Aug;18(8):103113.
57. Nielsen JC, Hjorringgaard C, Nygaard MM, Wester A, Elster L, Porsgaard T, et al. Machine-Learning-Guided Peptide Drug Discovery: Development of GLP-1 Receptor Agonists with Improved Drug Properties. *Journal of Medicinal Chemistry*. 2024 Jul 25;67(14):11814-26.
58. Ochs V, Tobler A, Wolleb J, Bieder F, Saad B, Enodien B, et al. Development of predictive model for predicting postoperative BMI and optimize bariatric surgery: a single center pilot study. *Surgery for Obesity and Related Diseases*. 2024 Jul;
59. Liu Y, Cao S. The analysis of aerobics intelligent fitness system for neurorobotics based on big data and machine learning. *Heliyon*. 2024 Jun;10(12):e33191.
60. Zhang H, Zhang J, Zhao L, Yu B, Zhang H, Lu W, et al. Comprehensive database for food-gut microbiota-disease interactions (FGMDI) analysis and dietary recommendation applications. *Food Bioscience*. 2024 Aug;60:104091.
61. Lee S, Chun J. Identification of important features in overweight and obesity among Korean adolescents using machine learning. *Children and Youth Services Review*. 2024 Jun; 161:107644.
62. Cunha C, Rebelo J, Duarte R. Unveiling Neural Networks for Personalized Diet Recommendations. *Procedia Computer Science*. 2024; 241:606-11.
63. Zhang X, Dutton M, Liu R, Ali AA, Sherbeny F. Deep Learning–Based Survival Analysis for Receiving a Steatotic Donor Liver Versus Waiting for a Standard Liver. *Transplantation Proceedings*. 2023 Dec;55(10):2436-43.
64. Kolli R, Razzaghi T, Pierce S, Edwards RK, Maxted M, Parikh P. Predicting cesarean delivery among gravidas with morbid obesity—a machine learning approach. *AJOG Global Reports*. 2023 Nov;3(4):100276.
65. Liu Y, Pan F, Wang O, Zhu Z, Li Q, Yang Z, et al. QSAR model of pancreatic lipase inhibition by phenolic acids and their derivatives based on machine learning and multi-descriptor strategy. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023 Dec; 14:100783.
66. Saux P, Bauvin P, Raverdy V, Teigny J, Verkindt H, Soumphonphakdy T, et al. Development and validation of an interpretable machine learning-based calculator for predicting 5-year weight trajectories after bariatric surgery: a multinational retrospective cohort SOPHIA study. *The Lancet Digital Health*. 2023 Oct;5(10):e692-702.
67. Lodi M, Poterie A, Exarchakis G, Brien C, Lafaye de Micheaux P, Deruelle P, et al. Prediction of cesarean delivery in class III obese nulliparous women: An externally validated model using machine learning. *Journal of Gynecology Obstetrics and Human Reproduction*. 2023 Sep;52(7):102624.
68. Alnajar A, Benck KN, Dar T, Hirji SA, Ibrahim W, Detweiler B, et al. Predictors of outcomes in patients with obesity following mitral valve surgery. *JTCVS Open*. 2023 Sep; 15:127-50.
69. Qin T, Gao X, Lei L, Feng J, Zhang W, Hu Y, et al. Machine learning- and structure-based discovery of a novel chemotype as FXR agonists for potential treatment of nonalcoholic fatty liver disease. *European Journal of Medicinal Chemistry*. 2023 Apr; 252:115307.

70. Lu Y, Shan Y, Dai L, Jiang X, Song C, Chen B, et al. Sex-specific equations to estimate body composition: Derivation and validation of diagnostic prediction models using UK Biobank. *Clinical Nutrition*. 2023 Apr;42(4):511-8.
71. West HW, Siddique M, Williams MC, Volpe L, Desai R, Lyasheva M, et al. Deep-Learning for Epicardial Adipose Tissue Assessment With Computed Tomography. *JACC: Cardiovascular Imaging*. 2023 Jun;16(6):800-16.
72. Fan Z, Gou J. Predicting body fat using a novel fuzzy-weighted approach optimized by the whale optimization algorithm. *Expert Systems with Applications*. 2023 May; 217:119558.
73. Aggarwal S, Pandey K. Early identification of PCOS with commonly known diseases: Obesity, diabetes, high blood pressure and heart disease using machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*. 2023 May; 217:119532.
74. Salem NM, Jack KM, Gu H, Kumar A, Garcia M, Yang P, et al. Machine and deep learning identified metabolites and clinical features associated with gallstone disease. *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*. 2023; 3:100106.
75. Forman EM, Berry MP, Butryn ML, Hagerman CJ, Huang Z, Juarascio AS, et al. Using artificial intelligence to optimize delivery of weight loss treatment: Protocol for an efficacy and cost-effectiveness trial. *Contemporary Clinical Trials*. 2023 Jan; 124:107029.
76. Mahapatra M, Singh KK. Prediction of causes and effects of obesity in India by supervise learning approaches. *Obesity Medicine*. 2022 Sep; 34:100436.
77. Idrees M, Sohail A. Explainable machine learning of the breast cancer staging for designing smart biomarker sensors. *Sensors International*. 2022; 3:100202.
78. Liu W, Fang X, Zhou Y, Dou L, Dou T. Machine learning-based investigation of the relationship between gut microbiome and obesity status. *Microbes and Infection*. 2022 Mar;24(2):104892.
79. Flint SW, Leaver M, Griffiths A, Kaykanloo M. Disparate healthcare experiences of people living with overweight or obesity in England. *eClinicalMedicine*. 2021 Nov; 41:101140.
80. Ferdowsy F, Rahi KSA, Jabiullah MdI, Habib MdT. A machine learning approach for obesity risk prediction. *Current Research in Behavioral Sciences*. 2021 Nov; 2:100053.
81. Park HJ, Francisco SC, Pang MR, Peng L, Chi G. Exposure to anti-Black Lives Matter movement and obesity of the Black population. *Social Science & Medicine*. 2023 Jan; 316:114265.
82. Bishop TRP, von Hinke S, Hollingsworth B, Lake AA, Brown H, Burgoine T. Automatic classification of takeaway food outlet cuisine type using machine (deep) learning. *Machine Learning with Applications*. 2021 Dec; 6:100106.
83. Ben Izhak M, Eshel A, Cohen R, Madar-Shapiro L, Meiri H, Wachtel C, et al. Projection of Gut Microbiome Pre- and Post-Bariatric Surgery to Predict Surgery Outcome. Chia N, editor. *mSystems*. 2021 Jun 29;6(3).
84. Uçar MK, Uçar Z, Uçar K, Akman M, Bozkurt MR. Determination of body fat percentage by electrocardiography signal with gender based artificial intelligence. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2021 Jul; 68:102650.
85. Pang X, Forrest CB, Lê-Scherban F, Masino AJ. Prediction of early childhood obesity with machine learning and electronic health record data. *International Journal of Medical Informatics*. 2021 Jun; 150:104454.
86. Zare S, Thomsen MR, Nayga RM, Goudie A. Use of Machine Learning to Determine the Information Value of a BMI Screening Program. *American Journal of Preventive Medicine*. 2021 Mar;60(3):425-33.
87. Zhukova I V., Derevitskii I V., Matveev GA, Golikova TI, Babenko AYU. Predictive Modeling for Decision Support in the Tasks of Selecting the Drug for Obesity Treatment. *Procedia Computer Science*. 2021; 193:371-81.
88. Pantanowitz A, Cohen E, Gradidge P, Crowther NJ, Aharonson V, Rosman B, et al. Estimation of Body Mass Index from photographs using deep Convolutional Neural Networks. *Informatics in Medicine Unlocked*. 2021; 26:100727.
89. Buch A, Magid A, Eldor R, Keinan-Boker L, Ben Haim L, Greenman Y, et al. Nutritional profiling of frail and obese, community dwelling older subjects: Results from a national survey. *Experimental Gerontology*. 2020 Dec; 142:111112.
90. Chiong R, Fan Z, Hu Z, Chiong F. Using an improved relative error support vector machine for body fat prediction. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2021 Jan;198:105749.
91. Uçar MK, Uçar Z, Köksal F, Daldal N. Estimation of body fat percentage using hybrid machine learning algorithms. *Measurement*. 2021 Jan; 167:108173.
92. Aguirre Palacios FA, Aguirre Caamaño MF, Celis G. Propuesta de fenotipo para diagnóstico temprano de posibilidad de síndrome metabólico en escolares de seis a 15 años. *Hipertensión y Riesgo Vascular*. 2020 Jul;37(3):115-24.
93. Barth B, Bizarro L, Miguel PM, Dubé L, Levitan R, O'Donnell K, et al. Genetically predicted gene expression of prefrontal DRD4 gene and the differential susceptibility to childhood emotional eating in response to positive environment. *Appetite*. 2020 May; 148:104594.
94. Derevitskii I V., Matveev GA, Vasilieva EYu, Babenko AYU, Lutsenko AE. Predictive Modelling of Weight-Loss-Therapy Results for Patients with Obesity. *Procedia Computer Science*. 2020; 178:254-63.
95. Liu Y, Wang Y, Ni Y, Cheung CKY, Lam KSL, Wang Y, et al. Gut Microbiome Fermentation Determines the Efficacy of Exercise for Diabetes Prevention. *Cell Metabolism*. 2020 Jan;31(1):77-91. e5.
96. Monshizadeh M, Ye Y. Incorporating metabolic activity, taxonomy and community structure to improve microbiome-based predictive models for host phenotype prediction. *Gut Microbes*. 2024 Dec 31;16(1).

97. Al-Zubayer MdA, Alam K, Shanto HH, Maniruzzaman Md, Majumder UK, Ahammed B. Machine learning models for prediction of double and triple burdens of non-communicable diseases in Bangladesh. *Journal of Biosocial Science*. 2024 May 20;56(3):426-44.
98. Singer P, Robinson E, Raphaelli O. The future of artificial intelligence in clinical nutrition. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2024 Mar;27(2):200-6.
99. Lin W, Shi S, Huang H, Wen J, Chen G. Predicting risk of obesity in overweight adults using interpretable machine learning algorithms. *Frontiers in Endocrinology*. 2023 Nov 17;14.
100. Jeong S, Yun SB, Park SY, Mun S. Understanding cross-data dynamics of individual and social / environmental factors through a public health lens: explainable machine learning approaches. *Frontiers in Public Health*. 2023 Oct 26;11.
101. Sikandar T, Rabbi MF, Ghazali KH, Altwijri O, Almijalli M, Ahamed NU. Minimum number of inertial measurement units needed to identify significant variations in walk patterns of overweight individuals walking on irregular surfaces. *Scientific Reports*. 2023 Sep 27;13(1):16177.
102. Carrilho TRB, Silva N de J, Paixão ES, Falcão IR, Fiaccone RL, Rodrigues LC, et al. Maternal and child nutrition programme of investigation within the 100 Million Brazilian Cohort: study protocol. *BMJ Open*. 2023 Sep 6;13(9):e073479.
103. Deng X, Qiu L, Sun X, Li H, Chen Z, Huang M, et al. Early prediction of body composition parameters on metabolically unhealthy in the Chinese population via advanced machine learning. *Frontiers in Endocrinology*. 2023 Aug 29;14.
104. Woo S, Jung S, Lim H, Kim Y, Park KH. Exploring the Effect of the Dynamics of Behavioral Phenotypes on Health Outcomes in an mHealth Intervention for Childhood Obesity: Longitudinal Observational Study. *Journal of Medical Internet Research*. 2023 Aug 17;25:e45407.
105. El Hajoui O, Sun RS, Zammit A, Humphreys K, Asch SM, Carroll I, et al. Prediction of opioid-related outcomes in a medicaid surgical population: Evidence to guide postoperative opiate therapy and monitoring. Althouse B, editor. *PLOS Computational Biology*. 2023 Aug 14;19(8):e1011376.
106. Wang Y, Jin Z, Huang J, Lu H, Wang W. Facial Landmark based BMI Analysis for Pervasive Health Informatics. In: 2023 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). IEEE; 2023. p. 1-5.
107. Fujihara K, Yamada Harada M, Horikawa C, Iwanaga M, Tanaka H, Nomura H, et al. Machine learning approach to predict body weight in adults. *Frontiers in Public Health*. 2023 Jun 15;11.
108. Cheng ER, Cengiz AY, Miled Z Ben. Predicting body mass index in early childhood using data from the first 1000 days. *Scientific Reports*. 2023 May 31;13(1):8781.
109. Khudri MdM, Rhee KK, Hasan MS, Ahsan KZ. Predicting nutritional status for women of childbearing age from their economic, health, and demographic features: A supervised machine learning approach. Ahmad T, editor. *PLOS ONE*. 2023 May 12;18(5):e0277738.
110. Bizhanova Z, Sereika Sm, Brooks Mm, Rockette-Wagner B, Kariuki Jk, Burke Le. Identifying Predictors of Adherence to the Physical Activity Goal: A Secondary Analysis of the SMARTER Weight Loss Trial. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2023 May;55(5):856-64.
111. Oghabian A, van der Kolk BW, Marttinen P, Valsesia A, Langin D, Saris WH, et al. Baseline gene expression in subcutaneous adipose tissue predicts diet-induced weight loss in individuals with obesity. *PeerJ*. 2023 Mar 24;11:e15100.
112. Torres-Martos Á, Bustos-Aibar M, Ramírez-Mena A, Cámara-Sánchez S, Anguita-Ruiz A, Alcalá R, et al. Omics Data Preprocessing for Machine Learning: A Case Study in Childhood Obesity. *Genes*. 2023 Jan 18;14(2):248.
113. Jeon J, Lee S, Oh C. Age-specific risk factors for the prediction of obesity using a machine learning approach. *Frontiers in Public Health*. 2023 Jan 17;10.
114. Feng NN, Du XY, Zhang YS, Jiao ZK, Wu XH, Yang BM. Overweight/obesity-related transcriptomic signature as a correlate of clinical outcome, immune microenvironment, and treatment response in hepatocellular carcinoma. *Frontiers in Endocrinology*. 2023 Jan 12;13.
115. Kozarzewski L, Maurer L, Mähler A, Spranger J, Weygandt M. Computational approaches to predicting treatment response to obesity using neuroimaging. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2022 Aug 23;23(4):773-805.
116. Barrett LA, Xing A, Sheffler J, Steidley E, Adam TJ, Zhang R, et al. Assessing the use of prescription drugs and dietary supplements in obese respondents in the National Health and Nutrition Examination Survey. Qian J, editor. *PLOS ONE*. 2022 Jun 3;17(6):e0269241.
117. Kim HH, Kim Y, Michaelides A, Park YR. Weight Loss Trajectories and Related Factors in a 16-Week Mobile Obesity Intervention Program: Retrospective Observational Study. *Journal of Medical Internet Research*. 2022 Apr 15;24(4):e29380.
118. Salazar N, Ponce-Alonso M, Garriga M, Sanchez-Carrillo S, Hernández-Barranco AM, Redruello B, et al. Fecal Metabolome and Bacterial Composition in Severe Obesity: Impact of Diet and Bariatric Surgery. *Gut Microbes*. 2022 Dec 31;14(1).
119. Ali S, Na R, Waterhouse M, Jordan SJ, Olsen CM, Whiteman DC, et al. Predicting obesity and smoking using medication data: A machine-learning approach. *Pharmacoepidemiology and Drug Safety*. 2022 Jan 17;31(1):91-9.
120. Kim M, Yang J, Ahn WY, Choi HJ. Machine Learning Analysis to Identify Digital Behavioral Phenotypes for Engagement and Health Outcome Efficacy of an mHealth Intervention for Obesity: Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*. 2021 Jun 24;23(6):e27218.

121. Jiang X, Nelson AE, Cleveland RJ, Beavers DP, Schwartz TA, Arbeeve L, et al. Precision Medicine Approach to Develop and Internally Validate Optimal Exercise and Weight-Loss Treatments for Overweight and Obese Adults With Knee Osteoarthritis: Data From a Single-Center Randomized Trial. *Arthritis Care & Research*. 2021 May 11;73(5):693-701.
122. Zhang W, Ji G, Manza P, Li G, Hu Y, Wang J, et al. Connectome-Based Prediction of Optimal Weight Loss Six Months After Bariatric Surgery. *Cerebral Cortex*. 2021 Mar 31;31(5):2561-73.
123. Kim HH, Kim Y, Park YR. Interpretable Conditional Recurrent Neural Network for Weight Change Prediction: Algorithm Development and Validation Study. *JMIR mHealth and uHealth*. 2021 Mar 29;9(3): e22183.
124. Marcos-Pasero H, Colmenarejo G, Aguilar-Aguilar E, Ramírez de Molina A, Reglero G, Loria-Kohen V. Ranking of a wide multidomain set of predictor variables of children obesity by machine learning variable importance techniques. *Scientific Reports*. 2021 Jan 21;11(1):1910.
125. Prasad B, Agarwal C, Schonfeld E, Schonfeld D, Mokhlesi B. Deep learning applied to polysomnography to predict blood pressure in obstructive sleep apnea and obesity hypoventilation: a proof-of-concept study. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2020 Oct 15;16(10):1797-803.
126. Dong TS, Mayer EA, Osadchiy V, Chang C, Katzka W, Lagishetty V, et al. A Distinct Brain-Gut-Microbiome Profile Exists for Females with Obesity and Food Addiction. *Obesity*. 2020 Aug 22;28(8):1477-86.
127. Dunstan J, Aguirre M, Bastías M, Nau C, Glass TA, Tobar F. Predicting nationwide obesity from food sales using machine learning. *Health Informatics Journal*. 2020 Mar 19;26(1):652-63.

ANEXO

TABLA I. ESTUDIOS RECIENTES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OBESIDAD (2020-2024)

Nº	Fuente bibliográfica	Autores	Título	Año
1	(51)	Andrei Valeanu, Denisa Margina, Daniela Weber et al.	Development and validation of cardiometabolic risk predictive models based on LDL oxidation and candidate geromarkers from the MARK-AGE data	2024
2	(52)	Christina Glasbrenner, Christoph Höchsmann, Carl F Pieper et al.	Prediction of individual weight loss using supervised learning: findings from the CALERIETM 2 study	2024
3	(10)	AMehak Gupta, Daniel Eckrich, H. Timothy Bunnell, Thao-Ly T. Phan, Rahmatollah Beheshti	Reliable prediction of childhood obesity using only routinely collected EHRs may be possible	2024
4	(53)	Tarek Khater, Hissam Tawfik, Balbir Singh	Explainable artificial intelligence for investigating the effect of lifestyle factors on obesity	2024
5	(54)	Yingxin Celia Jiang, Kaitao Lai, Roslyn Patricia Muirhead et al.	Deep serum lipidomics identifies evaluative and predictive biomarkers for individualized glycemic responses following low-energy diet-induced weight loss: a PREvention of diabetes through lifestyle Intervention and population studies in Europe and around the World (PREVIEW) substudy	2024
6	(29)	Álvaro Torres-Martos, Augusto Anguita-Ruiz, Mireia Bustos-Aibar et al.	Multiomics and eXplainable artificial intelligence for decision support in insulin resistance early diagnosis: A pediatric population-based longitudinal study	2024
7	(55)	Qingfeng Wu, Huiyi Wei, Cong Lu, Xiaoxian Chi, Rongfang Li, Qingbin Zhao	Establishment of precise prevention strategies for the occurrence and progression of coronary atherosclerotic heart disease using machine learning	2024
8	(56)	Carl Harris, Daniel Olshvang, Rama Chellappa, Prasanna Santhanam	Obesity prediction: Novel machine learning insights into waist circumference accuracy	2024
9	(31)	Lucas Daniel Batista Lima, Silmar Teixeira, Vinicius Bordalo et al.	A scale-equivariant CNN-based method for estimating human weight and height from multi-view clinic silhouette images	2024
10	(57)	Jens Christian Nielsen, Claudia Hjørringgaard, Mads Morup Nygaard et al.	Machine-Learning-Guided Peptide Drug Discovery: Development of GLP-1 Receptor Agonists with Improved Drug Properties	2024

TABLA I (CONT.). ESTUDIOS RECIENTES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OBESIDAD (2020-2024)

Nº	Fuente bibliográfica	Autores	Título	Año
11	(58)	Vincent Ochs, Anja Tobler, Julia Wolleb <i>et al.</i>	Development of predictive model for predicting postoperative BMI and optimize bariatric surgery: a single center pilot study	2024
12	(59)	Yuanxin Liu, Shufang Cao	The analysis of aerobics intelligent fitness system for neurorobotics based on big data and machine learning	2024
13	(60)	Huiqin Zhang, Jie Zhang, Ling Zhao <i>et al.</i>	Comprehensive database for food-gut microbiota-disease interactions (FGMDI) analysis and dietary recommendation applications	2024
14	(61)	Serim Lee, JongSerl Chun	Identification of important features in overweight and obesity among Korean adolescents using machine learning	2024
15	(62)	Carlos Cunha, João Rebelo, Rui Duarte <i>et al.</i>	Unveiling Neural Networks for Personalized Diet Recommendations	2024
16	(63)	Xiao Zhang, Matthew Dutton, Rongjie Liu, Askal A. Ali, Fatimah Sherbeny	Deep Learning-Based Survival Analysis for Receiving a Steatotic Donor Liver Versus Waiting for a Standard Liver	2023
17	(64)	Rajasri Kolli, Talayeh Razzaghi, Stephanie Pierce, Rodney K. Edwards, Marta Maxted, Pavan Parikh	Predicting cesarean delivery among gravidas with morbid obesity—a machine learning approach	2023
18	(65)	Yaqi Liu, Fei Pan, Ou Wang <i>et al.</i>	QSAR model of pancreatic lipase inhibition by phenolic acids and their derivatives based on machine learning and multi-descriptor strategy	2023
19	(66)	Patrick Saux, Pierre Bauvin, Violeta Raverdy <i>et al.</i>	Development and validation of an interpretable machine learning-based calculator for predicting 5-year weight trajectories after bariatric surgery: a multinational retrospective cohort SOPHIA study	2023
20	(40)	Isaac Y. Tian, Michael C. Wong, William M. Nguyen <i>et al.</i>	Automated body composition estimation from device-agnostic 3D optical scans in pediatric populations	2023
21	(67)	Massimo Lodi, Audrey Poterie, Georgios Exarchakis <i>et al.</i>	Prediction of cesarean delivery in class III obese nulliparous women: An externally validated model using machine learning	2023
22	(68)	Ahmed Alnajar, Kelley N. Benck, Tawseef Dar <i>et al.</i>	Predictors of outcomes in patients with obesity following mitral valve surgery	2023
23	(69)	Tong Qin, Xuefeng Gao, Lei <i>et al.</i>	Machine learning- and structure-based discovery of a novel chemotype as FXR agonists for potential treatment of nonalcoholic fatty liver disease	2023
24	(70)	Yueqi Lu, Ying Shan, Liang Dai <i>et al.</i>	Sex-specific equations to estimate body composition: Derivation and validation of diagnostic prediction models using UK Biobank	2023
25	(21)	Frida Lenér, Guðrún Höskuldsdóttir, Kerstin Landin-Wilhelmsen <i>et al.</i>	Anaemia in patients with self-reported use of iron supplements in the BARIatric surgery SUBstitution and nutrition study: A prospective cohort study	2023
26	(26)	Candela Díaz-Canestro, Jiarui Che, Yan Liu <i>et al.</i>	A machine-learning algorithm integrating baseline serum proteomic signatures predicts exercise responsiveness in overweight males with prediabetes	2023
27	(71)	Henry W. West BMedSci, Muhammad Siddique, Michelle C. Williams <i>et al.</i>	Deep-Learning for Epicardial Adipose Tissue Assessment With Computed Tomography: Implications for Cardiovascular Risk Prediction	2023

TABLA I (CONT.). ESTUDIOS RECIENTES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OBESIDAD (2020-2024)

Nº	Fuente bibliográfica	Autores	Título	Año
28	(72)	Zongwen Fan, Jin Gou	Predicting body fat using a novel fuzzy-weighted approach optimized by the whale optimization algorithm	2023
29	(73)	Shivani Aggarwal, Kavita Pandey	Early identification of PCOS with commonly known diseases: Obesity, diabetes, high blood pressure and heart disease using machine learning techniques	2023
30	(74)	Nourah M. Salem, Khadijah M. Jack, Haiwei Gu <i>et al.</i>	Machine and deep learning identified metabolites and clinical features associated with gallstone disease	2023
31	(75)	Evan M. Forman, Michael P. Berry, Meghan L. Butryn <i>et al.</i>	Using artificial intelligence to optimize delivery of weight loss treatment: Protocol for an efficacy and cost-effectiveness trial	2023
32	(76)	Madhumita Mahapatra, Krishna Kumar Singh	Prediction of causes and effects of obesity in India by supervise learning approaches	2022
33	(39)	A. Nana, J.M.D. Staynor, S. Arlai, A. El-Sallam, N. Dhungel, M.K. Smith	Agreement of anthropometric and body composition measures predicted from 2D smartphone images and body impedance scales with criterion methods	2022
34	(77)	Muhammad Idrees, Ayesha Sohail	Explainable machine learning of the breast cancer staging for designing smart biomarker sensors	2022
35	(78)	Wanjun Liu, Xiaojie Fang, Yong Zhou, Lihong Dou, Tongyi Dou	Machine learning-based investigation of the relationship between gut microbiome and obesity status	2022
36	(79)	Stuart W. Flint, Meghan Leaver, Alex Griffiths, Mohammad Kaykanloo	Disparate healthcare experiences of people living with overweight or obesity in England	2021
37	(80)	Faria Ferdowsy, Kazi Samsul Alam Rahi, Ismail Jabiullah, Tarek Habib	A machine learning approach for obesity risk prediction	2021
38	(81)	Hyun Joon Park, Sara Chari Francisco, Rosemary Pang, Lulu Peng, Guangqing Chi	Exposure to anti-Black Lives Matter movement and obesity of the Black population	2023
39	(82)	Tom R.P. Bishop, Stephanie von Hinke, Bruce Hollingsworth, Amelia A. Lake, Heather Brown, Thomas Burgoine	Automatic classification of takeaway food outlet cuisine type using machine (deep) learning	2021
40	(83)	Meirav Ben Izhak, Adi Eshel, Ruti Cohen <i>et al.</i>	Projection of Gut Microbiome Pre- and Post-Bariatric Surgery To Predict Surgery Outcome	2021
41	(84)	Muhammed Kürşad Uçar, Zeliha Uçar, Kübra Uçar, Mehmet Akman, Mehmet Recep Bozkurt	Determination of body fat percentage by electrocardiography signal with gender based artificial intelligence	2021
42	(85)	Xueqin Pang, Christopher B. Forrest, Félice Lê-Scherban, Aaron J. Masino	Prediction of early childhood obesity with machine learning and electronic health record data	2021
43	(86)	Samane Zare, Michael R. Thomsen, Rodolfo M. Nayga Jr, Anthony Goudie	Use of Machine Learning to Determine the Information Value of a BMI Screening Program	2021
44	(87)	Irina V. Zhukova, Ilia V. Derevitskii, Georgy A. Matveev, Tatiana I. Golikova, Alina Yu. Babenko	Predictive Modeling for Decision Support in the Tasks of Selecting the Drug for Obesity Treatment	2021

TABLA I (CONT.). ESTUDIOS RECIENTES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OBESIDAD (2020-2024)				
Nº	Fuente bibliográfica	Autores	Título	Año
45	(88)	A. Pantanowitz, E. Cohen, P. Gradidge, N.J. Crowther, V. Aharonson, B. Rosman, D.M. Rubin	Estimation of Body Mass Index from photographs using deep Convolutional Neural Networks	2021
46	(89)	Assaf Buch, Avi Magid, Roy Eldor <i>et al.</i>	Nutritional profiling of frail and obese, community dwelling older subjects: Results from a national survey	2021
47	(90)	Raymond Chiong, Zongwen Fan, Zhongyi Hu, Fabian Chiong	Using an improved relative error support vector machine for body fat prediction	2021
48	(91)	Muhammed Kürşad Uçar, Zeliha Uçar, Fatih Köksal, Nihat Daldal	Estimation of body fat percentage using hybrid machine learning algorithms	2021
49	(92)	F. Aguirre Palacios, M. F. Aguirre Caamaño, G. Celis	Phenotype proposal for early diagnosis of possibility of metabolic syndrome in school children aged 6 to 15 years	2020
50	(93)	Barbara Barth, Lisiane Bizarro, Patrícia Maidana Miguel <i>et al.</i>	Genetically predicted gene expression of prefrontal DRD4 gene and the differential susceptibility to childhood emotional eating in response to positive environment	2020
51	(94)	Ilia V. Derevitskii, Georgy A. Matveev, Elena Yu. Vasilieva, Alina Yu. Babenko, Anna E. Lutsenko	Predictive Modelling of Weight -Loss- Therapy Results for Patients with Obesity	2020
52	(95)	Yan Liu, Yao Wang, Yueqiong Ni <i>et al.</i>	Gut Microbiome Fermentation Determines the Efficacy of Exercise for Diabetes Prevention	2020
53	(96)	Mahsa Monshizadeh, Yuzhen Ye	A Incorporating metabolic activity, taxonomy and community structure to improve microbiome-based predictive models for host phenotype prediction	2024
54	(97)	Md Akib Al-Zubayer, Khorshed Alam, Hasibul Hasan Shanto, Md Maniruzzaman, Uttam Kumar Majumder, Benojir Ahammed	Machine learning models for prediction of double and triple burdens of non-communicable diseases in Bangladesh	2024
55	(98)	Pierre Singer, Eyal Robinson, Orit Raphaeli	The future of artificial intelligence in clinical nutrition	2024
56	(99)	Wei Lin, Songchang Shi, Huibin Huang, Junping Wen, Gang Chen	Predicting risk of obesity in overweight adults using interpretable machine learning algorithms	2024
57	(100)	Siwoo Jeong, Sung Bum Yun, Soon Yong Park, Sungchul Mun	Understanding cross-data dynamics of individual and social/ environmental factors through a public health lens: explainable machine learning approaches	2024
58	(101)	Tasriva Sikandar, Mohammad Fazle Rabbi, Kamarul Hawari Ghazali, Omar Altwijri, Mohammed Almjalli, Nizam Uddin Ahamed	Minimum number of inertial measurement units needed to identify significant variations in walk patterns of overweight individuals walking on irregular surfaces	2024
59	(102)	Thais Rangel Bousquet Carrilho, Natanael de Jesus Silva, Enny Santos Paixão <i>et al.</i>	Maternal and child nutrition programme of investigation within the 100 Million Brazilian Cohort: study protocol	2024
60	(103)	Xiujuan Deng, Lin Qiu, Xin Sun <i>et al.</i>	Early prediction of body composition parameters on metabolically unhealthy in the Chinese population via advanced machine learning	2024

TABLA I (CONT.). ESTUDIOS RECIENTES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OBESIDAD (2020-2024)

Nº	Fuente bibliográfica	Autores	Título	Año
61	(104)	Sarah Woo, Sunho Jung, Hyunjung Lim, YoonMyung Kim, Kyung Hee Park	Exploring the Effect of the Dynamics of Behavioral Phenotypes on Health Outcomes in an mHealth Intervention for Childhood Obesity: Longitudinal Observational Study	2024
62	(105)	Oualid El Hajouji, Ran S. Sun, Alban Zammit et al.	Prediction of opioid-related outcomes in a medicaid surgical population: Evidence to guide postoperative opiate therapy and monitoring	2024
63	(106)	Yujin Wang, Zhi Jin, Jia Huang, Hongzhou Lu, Wenjin Wang	Facial Landmark based BMI Analysis for Pervasive Health Informatics	2024
64	(11)	Heemoon Lim, Hyejung Lee, Joungyoun Kim	A prediction model for childhood obesity risk using the machine learning method: a panel study on Korean children	2024
65	(107)	Kazuya Fujihara, Mayuko Yamada Harada, et al.	Machine learning approach to predict body weight in adults	2024
66	(108)	Erika R. Cheng, Ahmet Yahya Cengiz, Zina Ben Miled	Predicting body mass index in early childhood using data from the first 1000 days	2024
67	(109)	Mohsan Khudri, Kang Keun Rhee, Mohammad Shabbir Hasan, Karar Zunaid Ahsan	Predicting nutritional status for women of childbearing age from their economic, health, and demographic features: A supervised machine learning approach	2023
68	(110)	Zhadyra Bizhanova, Susan M. Sereika, Maria M. Brooks, Bonny Rockette-Wagner, Jacob K. Kariuki, Lora E. Burke	Identifying Predictors of Adherence to the Physical Activity Goal: A Secondary Analysis of the SMARTER Weight Loss Trial	2023
69	(111)	Ali Oghabian, Birgitta W. van der Kolk, Pekka Marttinen, et al.	Baseline gene expression in subcutaneous adipose tissue predicts diet-induced weight loss in individuals with obesity	2023
70	(112)	Álvaro Torres-Martos, Mireia Bustos-Aibar, Alberto Ramírez-Mena et al.	Omics Data Preprocessing for Machine Learning: A Case Study in Childhood Obesity	2023
71	(113)	Junhwi Jeon, Sunmi Lee, Chunyoung Oh	Age-specific risk factors for the prediction of obesity using a machine learning approach	2023
72	(114)	Ning-Ning Feng, Xi-Yue Du, Yue-Shan Zhang, Zhi-Kai Jiao, Xiao-Hui Wu, Bao-Ming Yang	Overweight / obesity-related transcriptomic signature as a correlate of clinical outcome, immune microenvironment, and treatment response in hepatocellular carcinoma	2023
73	(115)	Leonard Kozarzewski, Lukas Maurer, Anja Mähler, Joachim Spranger, Martin Weygandt	Computational approaches to predicting treatment response to obesity using neuroimaging	2022
74	(116)	Laura A Barrett, Aiwen Xing, Julia Sheffler, et al.	Assessing the use of prescription drugs and dietary supplements in obese respondents in the National Health and Nutrition Examination Survey	2022
75	(117)	Ho Heon Ki, Youngin Kim, Andreas Michaelides, Yu Rang Park	Weight Loss Trajectories and Related Factors in a 16-Week Mobile Obesity Intervention Program: Retrospective Observational Study	2022
76	(118)	Nuria Salazar, Manuel Ponce-Alonso, María Garriga et al.	Fecal Metabolome and Bacterial Composition in Severe Obesity: Impact of Diet and Bariatric Surgery	2022
77	(119)	Sitwat Ali, Renhua Na, Mary Waterhouse et al.	A Predicting obesity and smoking using medication data: A machine-learning approach	2022
78	(120)	Meelim Kim, Jaeyeong Yang, Woo-Young Ahn, Hyung Jin Choi	Machine Learning Analysis to Identify Digital Behavioral Phenotypes for Engagement and Health Outcome Efficacy of an mHealth Intervention for Obesity: Randomized Controlled Trial	2021

TABLA I (CONT.). ESTUDIOS RECIENTES SOBRE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y OBESIDAD (2020-2024)				
Nº	Fuente bibliográfica	Autores	Título	Año
79	(121)	Xiaotong Jiang, Amanda E. Nelson, Rebecca J Cleveland <i>et al.</i>	Precision Medicine Approach to Develop and Internally Validate Optimal Exercise and Weight-Loss Treatments for Overweight and Obese Adults With Knee Osteoarthritis: Data From a Single-Center Randomized Trial	2021
80	(122)	Wenchao Zhang, Gang Ji, Peter Manza <i>et al.</i>	Connectome-Based Prediction of Optimal Weight Loss Six Months After Bariatric Surgery	2021
81	(123)	Ho Heon Kim, Youngin Kim, Yu Rang Park	Interpretable Conditional Recurrent Neural Network for Weight Change Prediction: Algorithm Development and Validation Study	2021
82	(124)	Helena Marcos-Pasero, Gonzalo Colmenarejo, Elena Aguilar-Aguilar, Ana Ramírez de Molina, Guillermo Reglero, Viviana Loria-Kohen	Ranking of a wide multidomain set of predictor variables of children obesity by machine learning variable importance techniques	2021
83	(125)	Bharati Prasad, Chirag Agarwal, Elan Schonfeld, Dan Schonfeld, Babak Mokhlesi	Deep learning applied to polysomnography to predict blood pressure in obstructive sleep apnea and obesity hypoventilation: a proof-of-concept study	2020
84	(126)	Tien S Dong, Emeran A. Mayer, Vadim Osadchiy <i>et al.</i>	A Distinct Brain-Gut-Microbiome Profile Exists for Females with Obesity and Food Addiction	2020
85	(127)	Jocelyn Dunstan, Marcela Aguirre, Magdalena Bastías, Claudia Nau, Thomas A. Glass, Felipe Tobar	Predicting nationwide obesity from food sales using machine learning	2020