

Nutrición *en las alturas*

*Cómo la dieta influye en
la eritrocitosis y la salud*



Silvia Elizabeth Alejo Visa
Benita Maritza Choque Quispe
Diana Susana Yana Choque
Karla Cecilia Rivera Valdivia
Magda Marilia Gallegos Loayza

Nutrición en las alturas

Cómo la dieta influye en la eritrocitosis y la salud

Editor



Nutrición en las alturas

Cómo la dieta influye en la eritrocitosis y la salud

Silvia Elizabeth Alejo Visa, Benita Maritza Choque Quispe, Diana Susana Yana Choque, Karla Cecilia Rivera Valdivia, Magda Marilia Gallegos Loayza

Editado por

CENTRO DE INVESTIGACIÓN & PRODUCCIÓN CIENTÍFICA
IDEOS E.I.R.L

Dirección: Calle Teruel N° 292, Urb. Las Américas - Miraflores-Perú

RUC: 20606452153

Primera edición digital, Marzo 2026

Libro electrónico disponible en www.tecnohumanismo.online

ISBN: 978-612-5241-13-9

Registro de Depósito legal N°: 2026-03154



Silvia Elizabeth Alejo Visa

seavi1408@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2881-7261>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Benita Maritza Choque Quispe

bchoque@unap.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0002-5794-0058>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Diana Susana Yana Choque

dianasusana.ych23@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-5833-4546>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Karla Cecilia Rivera Valdivia

krivera@unap.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0001-8016-9276>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

Magda Marilia Gallegos Loayza

gaboariga@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0007-1511-7462>

Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú

RESEÑA

La vida en las regiones de gran altitud plantea desafíos fisiológicos únicos para el organismo humano. Entre ellos, la disminución de la presión parcial de oxígeno genera respuestas adaptativas complejas destinadas a mantener la adecuada oxigenación de los tejidos. En este contexto, **Nutrición en las alturas: cómo la dieta influye en la eritrocitosis y la salud** ofrece un análisis integral de la relación entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica en poblaciones que habitan en ambientes de hipoxia crónica.

A partir de un enfoque interdisciplinario que integra conocimientos de fisiología, nutrición y medicina de altura, la obra explora cómo el estado nutricional y los patrones de consumo alimentario pueden influir en la producción de eritrocitos y en la regulación de la hemoglobina. El libro examina tanto los mecanismos fisiológicos que permiten la adaptación del organismo a la hipoxia como los factores nutricionales que pueden modular estos procesos, aportando una perspectiva novedosa sobre la interacción entre dieta y salud en contextos de altura.

Además del análisis teórico, la obra presenta un estudio empírico realizado en población adulta residente en regiones altoandinas, lo que permite comprender cómo los hábitos alimentarios y el estado nutricional se relacionan con la presencia de eritrocitosis. Los resultados ofrecen información relevante para el campo de la salud pública y la medicina clínica, contribuyendo a ampliar el conocimiento sobre los determinantes nutricionales de la salud en ambientes de gran altitud.

Dirigido a investigadores, profesionales de la salud, nutricionistas y estudiantes de ciencias biomédicas, este libro constituye una valiosa contribución al estudio de la fisiología de altura y a la comprensión de los factores nutricionales que influyen en la adaptación humana a condiciones ambientales extremas.

ÍNDICE

RESEÑA.....	3
INTRODUCCION.....	6
CAPÍTULO 1	9
1.1 Referentes teóricos.....	11
1.1.1 Conceptualización del estado nutricional.....	13
1.1.2 Bases fisiológicas del metabolismo energético	17
1.1.3 Adaptación metabólica a la hipoxia de altura	20
1.1.4 Epidemiología del sobrepeso y obesidad en zonas altoandinas	24
1.1.5 Malnutrición por exceso en poblaciones de altura	28
1.1.6 Inflamación crónica y metabolismo energético.....	31
1.1.7 Relación entre obesidad y enfermedades crónicas no transmisibles.....	34
1.1.8 Impacto del estado nutricional en la función respiratoria	38
1.1.9 Relación entre adiposidad y metabolismo del oxígeno	41
1.2 Nociones básicas de la variable	45
1.2.1 Evaluación antropométrica del estado nutricional	48
1.2.2 Índice de masa corporal (IMC) como indicador nutricional	52
1.2.3 Índice cintura–estatura y riesgo cardiometabólico.....	55
1.2.4 Composición corporal y distribución de grasa	58
1.2.5 Bioimpedancia eléctrica en la evaluación nutricional.....	62
1.2.6 Evaluación clínica del estado nutricional.....	65
1.2.7 Indicadores bioquímicos del estado nutricional	69
1.2.8 Relación entre estado nutricional y eritropoyesis.....	72
1.2.9 Implicancias nutricionales en la salud cardiovascular	75
CAPÍTULO 2	82
2.1 Referentes teóricos.....	85
2.1.1 Concepto de consumo alimentario	87
2.1.2 Determinantes sociales y culturales de la alimentación	91
2.1.3 Transición nutricional en poblaciones andinas	94

2.1.4 Patrones alimentarios en zonas altoandinas	97
2.1.5 Influencia de la dieta en enfermedades crónicas	101
2.1.6 Rol de los macronutrientes en el metabolismo energético	104
2.1.7 Micronutrientes y su función en la hematopoyesis	108
2.1.8 Hierro dietético y metabolismo del hierro.....	111
2.1.9 Interacción entre dieta, inflamación y metabolismo	114
2.2 Nociones básicas de la variable	118
2.2.1 Métodos de evaluación del consumo alimentario	120
2.2.2 Recordatorio de 24 horas.....	124
2.2.3 Cuestionario de frecuencia de consumo alimentario.....	126
2.2.4 Evaluación de la adecuación nutricional	129
2.2.5 Índice de calidad de la dieta	132
2.2.6 Ingesta energética y requerimientos nutricionales	135
2.2.7 Consumo de carbohidratos en poblaciones de altura	139
2.2.8 Ingesta de proteínas y metabolismo eritropoyético.....	142
2.2.9 Consumo de grasas y riesgo metabólico	145
2.2.10 Importancia del hierro en la producción de hemoglobina.....	148
2.2.11 Relación entre dieta y salud cardiovascular	151
CAPÍTULO 3	158
3.1 Diseño metodológico	160
3.2 Tipo y enfoque de investigación.....	163
3.3 Población y muestra.....	165
3.4 Técnicas e instrumentos de investigación.....	168
3.5 Procedimiento de análisis	171
3.6 Presentación de resultados	173
3.7 Discusión de resultados	179
REFLEXIONES FINALES	186
BIBLIOGRAFÍA	190

INTRODUCCION

La vida en grandes altitudes representa un desafío fisiológico significativo para el organismo humano debido a la disminución de la presión parcial de oxígeno en el ambiente. Esta condición, conocida como **hipoxia hipobárica**, genera una serie de respuestas adaptativas destinadas a mantener un adecuado suministro de oxígeno a los tejidos. Entre los mecanismos más importantes se encuentra el incremento en la producción de eritrocitos y hemoglobina, proceso denominado **eritrocitosis**, que permite mejorar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (Gonzales, 2011; Amaru et al., 2013). Sin embargo, cuando esta respuesta se exagera, puede desarrollarse una condición patológica denominada **eritrocitosis excesiva**, caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito que pueden ocasionar alteraciones circulatorias, aumento de la viscosidad sanguínea y complicaciones cardiovasculares (Amaru et al., 2016).

En el contexto de las poblaciones que habitan en regiones altoandinas, la eritrocitosis excesiva constituye un problema de salud relevante. Aproximadamente un tercio de la población peruana vive por encima de los 3.000 metros sobre el nivel del mar, donde la hipoxia ambiental actúa como un estímulo constante para los procesos de adaptación fisiológica (Bartolo-Marchena et al., 2015). Si bien la hipoxia es el principal factor desencadenante de la eritropoyesis aumentada, diversas investigaciones han señalado que otros factores biológicos, ambientales y conductuales también influyen en el desarrollo y la severidad de esta condición (Corante et al., 2017; Macarlupu et al., 2018).

Entre estos factores, **el estado nutricional y los patrones de consumo alimentario** han adquirido una creciente importancia en la investigación científica. La alimentación constituye uno de los determinantes fundamentales de la salud humana, ya que proporciona los nutrientes necesarios para el funcionamiento metabólico, el mantenimiento de los tejidos y la regulación de procesos fisiológicos esenciales, incluidos aquellos relacionados con la producción de células sanguíneas (Mariño-García et al., 2009). Nutrientes como el hierro, las proteínas, el zinc y diversas vitaminas participan directamente en la síntesis de

hemoglobina y en la regulación de la eritropoyesis, lo que sugiere que los hábitos dietéticos pueden influir en la dinámica hematológica de las poblaciones que viven en condiciones de hipoxia crónica (Allen y Ahluwalia, 1997; Gonzales y Gonzales, 2012).

En las regiones altoandinas del Perú, los patrones alimentarios tradicionales se caracterizan por un elevado consumo de **tubérculos, cereales y productos derivados del trigo**, así como por la ingesta frecuente de carnes rojas y alimentos ricos en hierro. Estos hábitos dietéticos responden tanto a la disponibilidad local de alimentos como a factores culturales y socioeconómicos que determinan la elección y preparación de los alimentos (Caballero, 2017). No obstante, en las últimas décadas se ha observado una transición nutricional caracterizada por el aumento del consumo de alimentos procesados, azúcares y grasas, lo que ha contribuido al incremento del sobrepeso y la obesidad en estas poblaciones (Olivares, 2000).

El **sobrepeso y la obesidad** constituyen condiciones metabólicas que pueden alterar la función respiratoria y favorecer estados de hipoxia tisular, lo que a su vez puede estimular la producción de eritropoyetina y aumentar la eritropoyesis. En poblaciones de altura, estos factores pueden potenciar los efectos de la hipoxia ambiental, contribuyendo al desarrollo de eritrocitosis excesiva y aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Navia et al., 2001; He et al., 2011). Asimismo, diversos estudios epidemiológicos han demostrado que la calidad de la dieta y el consumo excesivo de ciertos nutrientes, particularmente hierro y carbohidratos, pueden asociarse con alteraciones hematológicas y metabólicas en habitantes de zonas altoandinas (Barrios, 2017; Mercado, 2010).

Desde la perspectiva de la salud pública, comprender la relación entre **nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la altura** resulta fundamental para el diseño de estrategias preventivas y terapéuticas dirigidas a mejorar la calidad de vida de las poblaciones que viven en estas condiciones. La identificación de factores dietéticos asociados con la eritrocitosis excesiva puede contribuir al desarrollo de intervenciones nutricionales orientadas a equilibrar la ingesta de nutrientes, reducir los factores de riesgo metabólico y prevenir complicaciones cardiovasculares.

En este contexto, el presente libro aborda de manera integral la interacción entre **nutrición, estado nutricional y eritrocitosis en poblaciones de altura**, integrando conocimientos provenientes de la fisiología, la hematología y la epidemiología nutricional. A través del análisis de evidencia científica y de estudios realizados en poblaciones altoandinas, se examina cómo los hábitos alimentarios, la ingesta de nutrientes y las condiciones metabólicas influyen en los procesos de adaptación a la hipoxia y en la aparición de eritrocitosis excesiva.

El objetivo central de esta obra es **comprender el papel de la dieta y del estado nutricional en la regulación de los procesos hematológicos asociados a la vida en altura**, así como identificar los factores nutricionales que pueden contribuir a la prevención y manejo de esta condición. De esta manera, se busca aportar una perspectiva interdisciplinaria que permita fortalecer las estrategias de promoción de la salud y la investigación científica en el ámbito de la nutrición y la medicina de altura.

CAPÍTULO 1

ESTADO NUTRICIONAL Y METABOLISMO EN POBLACIONES DE ALTURA

Las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud están expuestas de manera permanente a condiciones ambientales particulares que influyen de forma significativa en los procesos fisiológicos y metabólicos del organismo humano. Entre estos factores destaca la **hipoxia hipobárica**, producto de la disminución de la presión parcial de oxígeno en el ambiente, condición que obliga al organismo a desarrollar mecanismos adaptativos destinados a mantener un adecuado suministro de oxígeno a los tejidos y garantizar el funcionamiento de los sistemas orgánicos (Gonzales, 2011). Estas adaptaciones incluyen modificaciones en el sistema respiratorio, cardiovascular, hematológico y metabólico, las cuales permiten mejorar la eficiencia del transporte y utilización del oxígeno en condiciones de baja disponibilidad ambiental.

Dentro de estos procesos de adaptación, el metabolismo energético y el estado nutricional juegan un papel fundamental. El organismo humano requiere un equilibrio adecuado entre la ingesta de nutrientes y el gasto energético para mantener la homeostasis fisiológica. En contextos de altura, las demandas energéticas pueden incrementarse debido al esfuerzo fisiológico necesario para compensar la menor disponibilidad de oxígeno, lo que genera cambios en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas (Miramontes et al., 2016). Estos cambios metabólicos permiten optimizar la producción de energía celular y sostener las funciones vitales en condiciones de estrés ambiental prolongado.

El **estado nutricional**, entendido como el resultado del balance entre la ingesta de alimentos, la utilización de nutrientes y las necesidades fisiológicas del organismo, constituye un indicador clave para evaluar la salud de las poblaciones (Mariño-García et al., 2009). Este estado refleja la interacción entre factores biológicos, ambientales, culturales y

socioeconómicos que influyen en la disponibilidad y consumo de alimentos. En poblaciones altoandinas, dichos factores se encuentran condicionados por características geográficas, climáticas y productivas que determinan la composición de la dieta y el acceso a determinados grupos de alimentos (Caballero, 2017).

Tradicionalmente, la alimentación en las zonas altoandinas se ha caracterizado por un alto consumo de **cereales, tubérculos y granos andinos**, acompañados en menor proporción por alimentos de origen animal y productos frescos como frutas y verduras. Estos patrones alimentarios responden a la disponibilidad local de alimentos, a las condiciones de producción agrícola y a las costumbres culturales propias de las comunidades andinas (Mamani, 2018). Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado una transformación progresiva en los hábitos alimentarios debido a procesos de urbanización, cambios socioeconómicos y mayor acceso a alimentos industrializados, lo que ha contribuido al incremento de problemas nutricionales como el sobrepeso y la obesidad (Olivares, 2000).

El exceso de peso corporal constituye un problema creciente en diversas poblaciones del mundo y también en comunidades que viven en altitudes elevadas. La **obesidad y el sobrepeso** se asocian con múltiples alteraciones metabólicas, entre ellas la resistencia a la insulina, la inflamación crónica de bajo grado y cambios en la función respiratoria que pueden influir en la oxigenación tisular (Navia et al., 2001). En contextos de altura, estas condiciones pueden agravar los efectos de la hipoxia ambiental y contribuir a la aparición de trastornos hematológicos, incluyendo la eritrocitosis excesiva.

Diversos estudios han demostrado que el incremento del tejido adiposo, especialmente en la región abdominal, puede generar alteraciones en la mecánica respiratoria debido a la reducción del volumen pulmonar y a la limitación en la expansión torácica. Estas modificaciones pueden conducir a una menor eficiencia en el intercambio gaseoso, favoreciendo estados de hipoxia tisular que estimulan la producción de eritropoyetina y, en consecuencia, la producción de eritrocitos (He et al., 2011). De esta manera, el estado nutricional se convierte en un factor potencialmente asociado con la regulación de la eritropoyesis en poblaciones que viven en condiciones de hipoxia crónica.

Asimismo, el análisis del estado nutricional permite identificar factores de riesgo relacionados con enfermedades crónicas no transmisibles, como la hipertensión arterial, la diabetes mellitus tipo 2 y las enfermedades cardiovasculares, las cuales han mostrado una creciente prevalencia en poblaciones de altura (Díaz, 2006). Estas enfermedades se encuentran estrechamente relacionadas con los estilos de vida, los patrones dietéticos y la composición corporal, por lo que su estudio resulta fundamental para comprender los cambios epidemiológicos que experimentan las poblaciones altoandinas.

En este contexto, el presente capítulo aborda el análisis del **estado nutricional y el metabolismo en poblaciones que habitan en altitudes elevadas**, integrando conceptos teóricos y herramientas metodológicas que permiten comprender la relación entre nutrición, metabolismo energético y adaptación fisiológica a la hipoxia. Se examinan los principales indicadores utilizados para evaluar el estado nutricional, los mecanismos metabólicos involucrados en la adaptación a la altura y las implicancias que estas variables tienen en la salud de las poblaciones altoandinas.

Comprender estas interacciones resulta esencial para el desarrollo de estrategias de intervención nutricional orientadas a mejorar la salud y prevenir enfermedades en poblaciones expuestas a condiciones ambientales extremas. Asimismo, permite establecer bases científicas para futuras investigaciones que profundicen en el papel de la nutrición como factor modulador de la adaptación humana a la vida en altura.

1.1 Referentes teóricos

El estudio del estado nutricional y del metabolismo en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud requiere comprender los fundamentos teóricos que explican la interacción entre nutrición, fisiología humana y adaptación ambiental. La vida en altura se caracteriza por condiciones particulares, entre ellas la disminución de la presión atmosférica y la menor disponibilidad de oxígeno, factores que generan una serie de respuestas adaptativas en el organismo humano orientadas a mantener el equilibrio fisiológico y la eficiencia metabólica (Gonzales, 2011). Estas respuestas incluyen modificaciones en el

sistema respiratorio, cardiovascular, hematológico y metabólico, que en conjunto permiten mejorar la capacidad de transporte y utilización del oxígeno en los tejidos.

Dentro de este contexto, la nutrición cumple un papel esencial en el mantenimiento de las funciones biológicas y en la regulación de los procesos metabólicos necesarios para enfrentar las condiciones de hipoxia propias de las zonas de altura. Los nutrientes aportados por la dieta constituyen la principal fuente de energía y de compuestos estructurales que intervienen en la síntesis de tejidos, en la producción de enzimas y hormonas, y en la regulación de múltiples procesos fisiológicos del organismo (Mariño-García et al., 2009). Por ello, el análisis de los referentes teóricos relacionados con la nutrición permite comprender cómo los factores dietéticos pueden influir en los mecanismos de adaptación humana a la altura.

El estado nutricional es considerado un indicador integral de salud, ya que refleja el resultado del balance entre la ingesta de alimentos, el aprovechamiento biológico de los nutrientes y las necesidades fisiológicas del organismo. Este estado se encuentra influenciado por múltiples determinantes, entre ellos factores biológicos, socioeconómicos, culturales y ambientales que condicionan el acceso, la disponibilidad y el consumo de alimentos en una determinada población (Caballero, 2017). En poblaciones altoandinas, estos determinantes adquieren características particulares debido a las condiciones geográficas y climáticas que limitan la diversidad alimentaria y favorecen dietas basadas principalmente en cereales y tubérculos.

Desde el punto de vista metabólico, la exposición prolongada a la hipoxia puede generar modificaciones en la utilización de los nutrientes y en los requerimientos energéticos del organismo. Diversos estudios han demostrado que en condiciones de altura se produce una mayor dependencia del metabolismo de los carbohidratos para la producción de energía, debido a que este tipo de sustrato requiere menor cantidad de oxígeno para su oxidación en comparación con los lípidos (Miramontes et al., 2016). Esta adaptación metabólica permite optimizar la eficiencia energética del organismo y contribuir a la tolerancia fisiológica frente a la hipoxia.

Asimismo, el estado nutricional puede influir en la respuesta fisiológica del organismo frente a las condiciones ambientales extremas. La presencia de sobrepeso u obesidad puede alterar la función respiratoria y reducir la eficiencia del intercambio gaseoso, lo que favorece estados de hipoxia tisular y estimula procesos compensatorios como el incremento de la eritropoyesis (Navia et al., 2001). Por otro lado, deficiencias nutricionales relacionadas con micronutrientes esenciales, como el hierro, el zinc o determinadas vitaminas, pueden afectar la producción de hemoglobina y el funcionamiento adecuado del sistema hematológico (Allen y Ahluwalia, 1997).

En este sentido, los referentes teóricos que sustentan el análisis del estado nutricional en poblaciones de altura integran conocimientos provenientes de diversas disciplinas, entre ellas la fisiología humana, la nutrición, la epidemiología y la medicina de altura. Estos enfoques permiten comprender cómo la interacción entre factores ambientales y nutricionales influye en la salud y en los procesos de adaptación biológica de las poblaciones que viven en condiciones de hipoxia crónica.

Por lo tanto, esta sección presenta los fundamentos conceptuales necesarios para comprender el papel del estado nutricional en el contexto de la vida en altura. Se revisan los principales conceptos relacionados con el metabolismo energético, la adaptación fisiológica a la hipoxia, la epidemiología del sobrepeso y la obesidad, así como la relación entre la nutrición y el riesgo de enfermedades crónicas en poblaciones altoandinas. Estos elementos teóricos constituyen la base para analizar posteriormente cómo el estado nutricional puede influir en procesos hematológicos como la eritropoyesis y en la aparición de eritrocitosis excesiva.

1.1.1 Conceptualización del estado nutricional

El **estado nutricional** constituye uno de los indicadores más importantes para evaluar la condición de salud de los individuos y de las poblaciones. Se define como el resultado de la interacción entre la ingesta de alimentos, la utilización biológica de los nutrientes y las necesidades fisiológicas del organismo en un momento determinado (Mariño-García, Núñez-Velázquez y Gámez-Gámez, 2009). Este concepto refleja el

equilibrio dinámico entre los requerimientos nutricionales del cuerpo y la disponibilidad de nutrientes provenientes de la dieta, así como la capacidad del organismo para absorberlos, metabolizarlos y utilizarlos adecuadamente para el mantenimiento de las funciones vitales.

Desde una perspectiva biológica, el estado nutricional se relaciona con el adecuado funcionamiento de los procesos metabólicos responsables del crecimiento, la reparación celular, la producción de energía y la regulación de múltiples funciones fisiológicas. Los nutrientes aportados por los alimentos —carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales— participan en rutas metabólicas fundamentales que permiten mantener la homeostasis del organismo. Cuando el aporte o la utilización de estos nutrientes es insuficiente o excesivo, pueden generarse alteraciones metabólicas que afectan el estado de salud del individuo (Esquivel, 2005).

En términos generales, el estado nutricional puede clasificarse en tres grandes categorías: **adecuado, deficitario o excesivo**. Un estado nutricional adecuado se caracteriza por un equilibrio entre la ingesta energética y el gasto metabólico del organismo, lo que permite mantener un peso corporal saludable y un funcionamiento fisiológico óptimo. En contraste, la desnutrición se produce cuando la ingesta de nutrientes es insuficiente para cubrir las necesidades del organismo, lo que puede provocar pérdida de masa corporal, alteraciones inmunológicas y mayor susceptibilidad a enfermedades. Por otro lado, el exceso nutricional se manifiesta principalmente a través del sobrepeso y la obesidad, condiciones que se asocian con un mayor riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares (Olivares, 2000).

El análisis del estado nutricional también debe considerar los determinantes sociales y ambientales que influyen en la disponibilidad y el consumo de alimentos. Factores como el nivel socioeconómico, la educación, las prácticas culturales, el acceso a los servicios de salud y la disponibilidad de alimentos en el entorno influyen significativamente en la calidad de la dieta y en el estado nutricional de las poblaciones (Caballero, 2017). En comunidades rurales o de difícil acceso geográfico, como muchas zonas altoandinas, estos factores pueden

limitar la diversidad alimentaria y favorecer dietas basadas en alimentos energéticos con menor densidad nutricional.

En el ámbito de la salud pública, el estado nutricional se considera un indicador fundamental para evaluar la situación alimentaria de una población y orientar la planificación de políticas nutricionales. La evaluación del estado nutricional permite identificar grupos de riesgo, establecer estrategias de intervención y monitorear el impacto de programas de alimentación y nutrición (FAO/OMS/UNU, 1985). En este sentido, la vigilancia nutricional constituye una herramienta clave para prevenir tanto la desnutrición como el exceso de peso, dos problemas que actualmente coexisten en muchas poblaciones del mundo.

Para evaluar el estado nutricional se emplea un conjunto de métodos que integran diferentes dimensiones del proceso nutricional. Entre los más utilizados se encuentran los **métodos antropométricos**, que permiten medir el tamaño corporal y la composición del organismo mediante indicadores como el peso, la talla, el índice de masa corporal (IMC) y la circunferencia de cintura. Estos indicadores son ampliamente utilizados debido a su facilidad de aplicación, bajo costo y capacidad para identificar alteraciones nutricionales en poblaciones amplias (Díaz, 2006).

Además de los métodos antropométricos, existen **métodos bioquímicos, clínicos y dietéticos** que complementan la evaluación nutricional. Los métodos bioquímicos permiten analizar la concentración de nutrientes o metabolitos en la sangre, la orina u otros tejidos, proporcionando información sobre el estado metabólico del organismo. Los métodos clínicos se basan en la observación de signos y síntomas asociados a deficiencias o excesos nutricionales, mientras que los métodos dietéticos permiten evaluar los hábitos alimentarios y la ingesta de nutrientes a través de encuestas de consumo alimentario (Rodón y Vallejo, 2014).

La evaluación integral del estado nutricional es especialmente relevante en poblaciones que viven en condiciones ambientales particulares, como las regiones de gran

altitud. En estas zonas, el organismo humano se enfrenta a la **hipoxia hipobárica**, una condición que implica una menor disponibilidad de oxígeno en el ambiente y que puede influir en diversos procesos fisiológicos y metabólicos (Gonzales, 2011). La adaptación a estas condiciones puede modificar los requerimientos energéticos y nutricionales del organismo, lo que hace necesario considerar el contexto ambiental al analizar el estado nutricional de las poblaciones que habitan en altura.

En poblaciones altoandinas, diversos estudios han demostrado una elevada prevalencia de **sobrepeso y obesidad**, incluso en contextos donde tradicionalmente predominaban problemas de desnutrición. Este fenómeno refleja cambios en los patrones alimentarios y en los estilos de vida asociados con procesos de transición nutricional, caracterizados por un mayor consumo de alimentos procesados, azúcares y grasas, así como por la disminución de la actividad física (Caballero, 2017). Estas transformaciones han generado nuevos desafíos para la salud pública, especialmente en relación con el aumento de enfermedades crónicas no transmisibles.

Asimismo, el estado nutricional puede influir en procesos fisiológicos relacionados con la adaptación a la altura. Por ejemplo, el exceso de tejido adiposo puede afectar la función respiratoria al limitar la expansión pulmonar y reducir la eficiencia del intercambio gaseoso. Estas alteraciones pueden favorecer estados de hipoxia tisular que estimulan la producción de eritropoyetina y aumentan la producción de glóbulos rojos, proceso que puede contribuir al desarrollo de eritrocitosis en individuos que viven en altitudes elevadas (He et al., 2011).

En este sentido, la conceptualización del estado nutricional adquiere una relevancia particular en el estudio de la salud de las poblaciones de altura. Comprender cómo la nutrición influye en los procesos metabólicos y en la adaptación fisiológica al ambiente permite identificar factores de riesgo asociados a diversas patologías y diseñar estrategias de intervención orientadas a mejorar la calidad de vida de estas comunidades.

Por lo tanto, el estado nutricional debe entenderse como un fenómeno multidimensional que integra aspectos biológicos, sociales y ambientales. Su análisis no solo permite evaluar la situación alimentaria de una población, sino también comprender cómo los factores nutricionales interactúan con las condiciones ambientales y fisiológicas propias de cada contexto. En el caso de las poblaciones que viven en altitudes elevadas, esta perspectiva resulta fundamental para analizar la relación entre nutrición, metabolismo y adaptación a la hipoxia, así como su posible influencia en procesos hematológicos como la eritropoyesis y la eritrocitosis excesiva.

1.1.2 Bases fisiológicas del metabolismo energético

El **metabolismo energético** constituye el conjunto de procesos bioquímicos mediante los cuales el organismo transforma los nutrientes provenientes de los alimentos en energía utilizable para mantener las funciones vitales, el crecimiento, la reparación de tejidos y la actividad física. Estos procesos permiten la obtención, almacenamiento y utilización de energía a través de complejas rutas metabólicas que involucran la degradación y síntesis de moléculas orgánicas (Esquivel, 2005). La energía liberada durante estas reacciones se utiliza principalmente para sostener funciones esenciales como la contracción muscular, la transmisión nerviosa, la síntesis de biomoléculas y el mantenimiento de la temperatura corporal.

Desde el punto de vista fisiológico, el metabolismo energético se basa en dos procesos fundamentales: **catabolismo y anabolismo**. El catabolismo comprende las reacciones metabólicas responsables de la degradación de moléculas complejas en compuestos más simples, liberando energía en forma de adenosín trifosfato (ATP). Este proceso ocurre principalmente durante la oxidación de carbohidratos, lípidos y proteínas. Por otro lado, el anabolismo incluye las reacciones que utilizan energía para sintetizar moléculas complejas necesarias para el crecimiento, la reparación de tejidos y la producción de sustancias biológicas como hormonas, enzimas y componentes celulares (Mariño-García et al., 2009).

La principal moneda energética del organismo es el **ATP**, una molécula que almacena energía química en sus enlaces fosfato. Durante las reacciones metabólicas, la hidrólisis del ATP libera energía que puede ser utilizada por las células para realizar diferentes funciones fisiológicas. La producción de ATP ocurre principalmente en las mitocondrias a través de procesos como la **glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones**, los cuales permiten la oxidación de los nutrientes y la generación de energía metabólica (Esquivel, 2005).

Los **macronutrientes** desempeñan un papel fundamental en el metabolismo energético. Los carbohidratos constituyen la fuente primaria de energía para el organismo debido a su rápida disponibilidad metabólica. Una vez ingeridos, los carbohidratos son digeridos y transformados en glucosa, que puede ser utilizada inmediatamente por las células o almacenada en forma de glucógeno en el hígado y los músculos. Este mecanismo permite mantener niveles adecuados de glucosa en sangre y garantizar un suministro constante de energía para los tejidos, especialmente el cerebro y el sistema nervioso central (FAO/OMS/UNU, 1985).

Los **lípidos** representan la principal reserva energética del organismo. A diferencia de los carbohidratos, los lípidos proporcionan una mayor cantidad de energía por unidad de peso y se almacenan principalmente en el tejido adiposo. Durante periodos de ayuno o de elevada demanda energética, los ácidos grasos almacenados pueden ser movilizados y oxidados en las mitocondrias mediante el proceso de beta-oxidación, generando grandes cantidades de ATP. Este mecanismo es especialmente importante para mantener el equilibrio energético en situaciones de esfuerzo prolongado o restricción alimentaria (Esquivel, 2005).

Las **proteínas**, aunque no constituyen la principal fuente de energía del organismo, también pueden participar en el metabolismo energético cuando las reservas de carbohidratos y lípidos son insuficientes. En estas circunstancias, los aminoácidos pueden ser convertidos en intermediarios metabólicos que ingresan al ciclo de Krebs para producir energía. Sin embargo, este proceso se considera metabólicamente menos eficiente y puede

generar efectos negativos si se prolonga, ya que implica la degradación de proteínas estructurales del organismo (Mariño-García et al., 2009).

El metabolismo energético también está regulado por un conjunto de **hormonas** que controlan la disponibilidad y utilización de los nutrientes en el organismo. Entre las hormonas más importantes se encuentran la insulina, el glucagón, las catecolaminas y las hormonas tiroideas. La insulina favorece el almacenamiento de glucosa y la síntesis de lípidos, mientras que el glucagón estimula la movilización de reservas energéticas durante periodos de ayuno. Por su parte, las hormonas tiroideas regulan la tasa metabólica basal, influyendo en la velocidad a la que el organismo utiliza la energía (Esquivel, 2005).

Otro concepto fundamental en la fisiología del metabolismo energético es el **gasto energético total**, que representa la cantidad de energía que el organismo utiliza en un periodo determinado. Este gasto se compone de tres elementos principales: la **tasa metabólica basal (TMB)**, el efecto térmico de los alimentos y la actividad física. La tasa metabólica basal corresponde a la energía necesaria para mantener las funciones vitales en reposo, como la respiración, la circulación sanguínea y la actividad celular. El efecto térmico de los alimentos se refiere a la energía utilizada en la digestión, absorción y metabolismo de los nutrientes, mientras que la actividad física representa el gasto energético asociado al movimiento corporal (FAO/OMS/UNU, 1985).

En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, el metabolismo energético puede experimentar modificaciones importantes como consecuencia de la **hipoxia hipobárica**, condición que reduce la disponibilidad de oxígeno en el ambiente. Esta situación genera una serie de adaptaciones fisiológicas orientadas a optimizar la producción de energía y mantener el funcionamiento adecuado de los tejidos (Gonzales, 2011). Diversos estudios han demostrado que en condiciones de hipoxia el organismo tiende a utilizar preferentemente los carbohidratos como fuente energética, ya que su oxidación requiere menor cantidad de oxígeno en comparación con los lípidos (Miramontes et al., 2016).

Además, la exposición prolongada a la altura puede incrementar los requerimientos energéticos del organismo debido al mayor esfuerzo fisiológico necesario para mantener la oxigenación tisular. Este incremento en la demanda energética puede influir en el balance nutricional y en la composición corporal de los individuos que viven en zonas altoandinas. En algunos casos, la insuficiencia energética puede conducir a pérdida de masa corporal, mientras que en otros contextos, especialmente cuando se combinan dietas hipercalóricas con estilos de vida sedentarios, puede favorecer el desarrollo de sobrepeso y obesidad (Caballero, 2017).

Asimismo, el metabolismo energético se relaciona estrechamente con los procesos de adaptación hematológica que ocurren en la altura. La producción de eritrocitos y hemoglobina requiere un aporte adecuado de energía y nutrientes, por lo que el estado nutricional puede influir en la capacidad del organismo para responder a la hipoxia ambiental mediante la eritropoyesis. Alteraciones en el metabolismo energético, como aquellas asociadas con el exceso de peso corporal o con deficiencias nutricionales, pueden modificar la respuesta fisiológica del organismo frente a las condiciones de hipoxia (Navia et al., 2001).

En conclusión, las bases fisiológicas del metabolismo energético constituyen un elemento fundamental para comprender cómo el organismo humano obtiene y utiliza la energía necesaria para su funcionamiento. En el contexto de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estos procesos adquieren una relevancia particular debido a las adaptaciones metabólicas que se desarrollan en respuesta a la hipoxia ambiental. El estudio del metabolismo energético permite analizar la relación entre nutrición, requerimientos energéticos y adaptación fisiológica, aspectos clave para comprender la influencia de la dieta en la salud y en la aparición de condiciones como la eritrocitosis en poblaciones de altura.

1.1.3 Adaptación metabólica a la hipoxia de altura

La vida en grandes altitudes expone al organismo humano a condiciones ambientales particulares, entre las cuales destaca la **hipoxia hipobárica**, fenómeno que se produce

debido a la disminución de la presión atmosférica y, en consecuencia, a una menor presión parcial de oxígeno disponible en el aire inspirado. Esta reducción en la disponibilidad de oxígeno representa un desafío fisiológico importante, ya que el oxígeno es un elemento esencial para los procesos metabólicos aeróbicos responsables de la producción de energía celular (Gonzales, 2011). Frente a esta condición, el organismo desarrolla una serie de mecanismos de adaptación destinados a optimizar el transporte, la distribución y la utilización del oxígeno en los tejidos.

La **adaptación metabólica a la hipoxia** implica una serie de ajustes fisiológicos y bioquímicos que permiten mantener el equilibrio energético del organismo en condiciones de menor disponibilidad de oxígeno. Estos mecanismos adaptativos incluyen modificaciones en la ventilación pulmonar, cambios en la circulación sanguínea, incremento en la producción de eritrocitos y alteraciones en las rutas metabólicas responsables de la generación de energía (Amaru et al., 2013). Estas respuestas adaptativas pueden observarse tanto en individuos que se exponen temporalmente a la altura como en poblaciones que han vivido durante generaciones en regiones altoandinas.

Uno de los mecanismos más importantes en la adaptación a la hipoxia es el incremento de la **eritropoyesis**, proceso mediante el cual se produce un mayor número de glóbulos rojos en la médula ósea. Este aumento en la producción de eritrocitos permite elevar la concentración de hemoglobina en la sangre y mejorar la capacidad de transporte de oxígeno hacia los tejidos. La eritropoyesis es regulada principalmente por la **eritropoyetina**, una hormona producida en el riñón cuya secreción se incrementa en respuesta a la disminución del oxígeno en la sangre (Amaru et al., 2016). De esta manera, el organismo intenta compensar la hipoxia ambiental mediante el aumento de la masa eritrocitaria.

A nivel celular, la adaptación metabólica a la hipoxia está regulada por el **factor inducible por hipoxia (HIF, por sus siglas en inglés)**, un complejo proteico que actúa como un sensor molecular de los niveles de oxígeno. Cuando la disponibilidad de oxígeno disminuye, el HIF se activa y desencadena la expresión de múltiples genes relacionados con

la angiogénesis, el metabolismo energético, la eritropoyesis y la supervivencia celular (He et al., 2011). Este mecanismo permite que las células ajusten su metabolismo para mantener la producción de energía en condiciones de baja oxigenación.

Uno de los cambios metabólicos más relevantes asociados a la hipoxia es la modificación en la utilización de los sustratos energéticos. En condiciones normales, el metabolismo celular obtiene energía principalmente mediante la oxidación de carbohidratos y lípidos a través de procesos aeróbicos que requieren oxígeno. Sin embargo, cuando la disponibilidad de oxígeno es limitada, el organismo tiende a favorecer el uso de **carbohidratos como fuente energética**, ya que su oxidación requiere una menor cantidad de oxígeno en comparación con los lípidos (Miramontes et al., 2016). Esta adaptación metabólica permite mejorar la eficiencia energética en condiciones de hipoxia.

Además, la hipoxia puede estimular la activación de rutas metabólicas anaeróbicas, como la **glucólisis anaeróbica**, que permite la producción de energía en ausencia de oxígeno. Aunque este proceso genera una menor cantidad de ATP en comparación con el metabolismo aeróbico, constituye una estrategia metabólica importante para mantener la producción energética cuando el suministro de oxígeno es insuficiente. Como resultado de este proceso, se produce un aumento en la concentración de lactato en los tejidos, fenómeno que puede observarse en individuos expuestos a altitudes elevadas (Gonzales, 2011).

Otro aspecto relevante de la adaptación metabólica a la hipoxia es la modificación en el **gasto energético del organismo**. La exposición a la altura puede aumentar las demandas energéticas debido al mayor esfuerzo fisiológico requerido para mantener la ventilación pulmonar y la circulación sanguínea. El incremento en la frecuencia respiratoria y en el trabajo del sistema cardiovascular implica un mayor consumo energético, lo que puede modificar el balance energético y las necesidades nutricionales de las personas que viven en altitudes elevadas (FAO/OMS/UNU, 1985).

Asimismo, la adaptación a la hipoxia puede generar cambios en la composición corporal y en el metabolismo de los nutrientes. En algunos casos, la exposición prolongada

a la altura se asocia con una disminución del apetito y con una reducción en la ingesta energética, fenómeno conocido como **anorexia de altura**. Esta condición puede contribuir a la pérdida de peso corporal en individuos que se exponen a altitudes elevadas por periodos prolongados. No obstante, en poblaciones que han desarrollado adaptaciones fisiológicas a la altura, este efecto suele ser menos pronunciado (Gonzales, 2011).

En poblaciones altoandinas, la adaptación a la hipoxia también puede estar influenciada por factores genéticos y ambientales. Estudios realizados en diferentes poblaciones de altura han demostrado que los habitantes nativos presentan características fisiológicas particulares que les permiten tolerar mejor las condiciones de hipoxia crónica. Estas adaptaciones incluyen una mayor eficiencia en el transporte de oxígeno, cambios en la ventilación pulmonar y modificaciones en la microcirculación sanguínea (Amaru et al., 2013). Estas características sugieren que la adaptación a la altura es el resultado de procesos evolutivos que han ocurrido a lo largo de generaciones.

Sin embargo, en algunos individuos la respuesta adaptativa puede volverse excesiva y conducir al desarrollo de **eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico**, una condición caracterizada por niveles muy elevados de hemoglobina y hematocrito. Este aumento exagerado de la masa eritrocitaria incrementa la viscosidad sanguínea y puede provocar alteraciones circulatorias, trombosis y complicaciones cardiovasculares (Corante et al., 2017). Diversos factores, entre ellos el estado nutricional, el consumo alimentario y las condiciones metabólicas, pueden influir en la aparición de esta condición.

En este contexto, la nutrición adquiere un papel relevante en la adaptación metabólica a la hipoxia. La disponibilidad de nutrientes adecuados permite sostener los procesos metabólicos necesarios para la producción de energía y para la síntesis de componentes sanguíneos como la hemoglobina. Nutrientes como el hierro, las proteínas y ciertas vitaminas participan directamente en la eritropoyesis y en el metabolismo celular, por lo que su consumo puede influir en la respuesta adaptativa del organismo frente a la hipoxia (Allen y Ahluwalia, 1997).

En síntesis, la adaptación metabólica a la hipoxia de altura representa un proceso complejo que involucra múltiples mecanismos fisiológicos orientados a mantener el equilibrio energético y la oxigenación tisular. Estos mecanismos incluyen cambios en la producción de eritrocitos, modificaciones en las rutas metabólicas energéticas y ajustes en el consumo de nutrientes. Comprender estas adaptaciones resulta fundamental para analizar cómo la nutrición y el estado nutricional pueden influir en la salud y en los procesos hematológicos de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

1.1.4 Epidemiología del sobrepeso y obesidad en zonas altoandinas

El **sobrepeso y la obesidad** constituyen actualmente uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial. Estas condiciones se caracterizan por una acumulación excesiva de tejido adiposo que puede afectar negativamente la salud y aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles, como diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Olivares, 2000). En términos epidemiológicos, la obesidad se define comúnmente mediante el **índice de masa corporal (IMC)**, indicador que relaciona el peso corporal con la talla y permite clasificar el estado nutricional de los individuos en categorías que van desde el bajo peso hasta la obesidad severa (Díaz, 2006).

Durante las últimas décadas, el incremento en la prevalencia de sobrepeso y obesidad ha sido notable en diversos países del mundo, incluyendo aquellos con economías en desarrollo. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, el número de personas con sobrepeso se ha duplicado desde la década de 1980, convirtiéndose en una de las principales causas de morbilidad y mortalidad prematura a nivel global (Olivares, 2000). Este fenómeno epidemiológico se relaciona principalmente con cambios en los estilos de vida, particularmente con el aumento en el consumo de alimentos altamente calóricos y la reducción de la actividad física.

En el caso de las **poblaciones que habitan en regiones altoandinas**, tradicionalmente se consideraba que el principal problema nutricional era la desnutrición, debido a las limitaciones en el acceso a alimentos variados y a las condiciones

socioeconómicas de muchas comunidades rurales. Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado una **transición nutricional** caracterizada por la coexistencia de problemas de desnutrición con un incremento progresivo de sobrepeso y obesidad (Caballero, 2017). Este cambio refleja transformaciones en los patrones alimentarios y en los estilos de vida de las poblaciones de altura.

Diversos estudios realizados en comunidades altoandinas han evidenciado un aumento en la prevalencia de exceso de peso en adultos. Investigaciones desarrolladas en poblaciones residentes en ciudades de gran altitud han reportado que una proporción significativa de individuos presenta **índices de masa corporal superiores a los valores considerados normales**, lo que sugiere que el sobrepeso y la obesidad se han convertido en problemas emergentes en estas regiones (Navia et al., 2001). Este fenómeno puede observarse tanto en zonas urbanas como rurales, aunque suele ser más frecuente en áreas urbanizadas donde existe mayor disponibilidad de alimentos industrializados.

En el contexto peruano, estudios epidemiológicos han señalado que una proporción considerable de la población adulta que vive en regiones altoandinas presenta sobrepeso u obesidad. Por ejemplo, investigaciones realizadas en poblaciones de altura han reportado que más del 80 % de los pacientes diagnosticados con eritrocitosis de altura presentan un índice de masa corporal superior a 25 kg/m², lo que indica la presencia de sobrepeso u obesidad (Mercado, 2010). Estos hallazgos sugieren que el exceso de peso corporal puede constituir un factor importante asociado a diversas condiciones de salud en poblaciones que viven en altitudes elevadas.

Uno de los factores que explica el aumento de la obesidad en estas regiones es la modificación de los **patrones de consumo alimentario**. Tradicionalmente, la dieta de las poblaciones andinas estaba basada en alimentos naturales como tubérculos, cereales andinos y legumbres. Sin embargo, el proceso de urbanización y la expansión del mercado alimentario han favorecido el acceso a alimentos procesados, bebidas azucaradas y productos ricos en grasas y azúcares simples (Caballero, 2017). Estos cambios en la dieta

han contribuido al incremento del consumo energético y al desarrollo de desequilibrios nutricionales.

Otro factor relevante es la disminución de la **actividad física**, particularmente en poblaciones que han experimentado procesos de urbanización o cambios en sus actividades laborales. La mecanización del trabajo, el uso de transporte motorizado y el aumento del sedentarismo han reducido el gasto energético diario, lo que favorece el desarrollo de exceso de peso corporal cuando se combina con dietas hipercalóricas (Olivares, 2000). Esta tendencia ha sido observada tanto en zonas urbanas como en comunidades rurales que han experimentado transformaciones socioeconómicas.

Desde el punto de vista fisiológico, el sobrepeso y la obesidad pueden tener implicancias importantes en poblaciones que viven en altitudes elevadas. El exceso de tejido adiposo, particularmente la **adiposidad abdominal**, puede afectar la función respiratoria al limitar la expansión del tórax y reducir los volúmenes pulmonares. Esta situación puede comprometer la eficiencia del intercambio gaseoso y favorecer estados de hipoxia tisular (Navia et al., 2001). En condiciones de hipoxia ambiental, como ocurre en regiones de gran altitud, estas alteraciones pueden intensificar los efectos fisiológicos de la baja disponibilidad de oxígeno.

Además, el tejido adiposo no solo actúa como reserva energética, sino que también funciona como un órgano metabólicamente activo que produce diversas sustancias biológicamente activas, conocidas como **adipocinas**. Estas moléculas participan en procesos inflamatorios y metabólicos que pueden influir en la regulación del metabolismo energético y en la respuesta del organismo frente a la hipoxia (He et al., 2011). En individuos con obesidad, la producción de estas sustancias puede contribuir a la aparición de estados inflamatorios crónicos y a alteraciones metabólicas que incrementan el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Diversas investigaciones también han sugerido que el exceso de peso corporal puede estar asociado con la aparición de **eritrocitosis excesiva** en poblaciones de altura. El

incremento de la masa adiposa puede favorecer la hipoxia tisular debido a la reducción de la eficiencia ventilatoria y al aumento de la demanda metabólica de oxígeno. Como consecuencia, el organismo puede estimular la producción de eritropoyetina y aumentar la producción de eritrocitos como mecanismo compensatorio (Navia et al., 2001). Este proceso podría contribuir al desarrollo de alteraciones hematológicas en individuos con sobrepeso u obesidad que viven en altitudes elevadas.

Desde la perspectiva de la salud pública, el incremento del sobrepeso y la obesidad en regiones altoandinas representa un desafío importante para los sistemas de salud. Estas condiciones no solo afectan la calidad de vida de las personas, sino que también incrementan el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas que generan elevados costos sociales y económicos (Díaz, 2006). Por esta razón, es fundamental implementar estrategias de prevención que promuevan hábitos alimentarios saludables y estilos de vida activos en estas poblaciones.

Asimismo, el estudio epidemiológico del sobrepeso y la obesidad en poblaciones de altura resulta fundamental para comprender la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia. El análisis de estos factores permite identificar grupos de riesgo y diseñar intervenciones nutricionales orientadas a mejorar el estado de salud de las comunidades que viven en condiciones ambientales particulares.

En conclusión, la epidemiología del sobrepeso y la obesidad en zonas altoandinas refleja un proceso de transición nutricional que ha modificado el perfil de salud de estas poblaciones. El incremento en la prevalencia de exceso de peso corporal se relaciona con cambios en los patrones alimentarios, el sedentarismo y transformaciones socioeconómicas que han alterado el equilibrio entre ingesta energética y gasto metabólico. Comprender la magnitud y las causas de este fenómeno resulta esencial para abordar sus implicancias en la salud metabólica, cardiovascular y hematológica de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

1.1.5 Malnutrición por exceso en poblaciones de altura

La **malnutrición por exceso** es una condición nutricional caracterizada por una ingesta energética superior a las necesidades metabólicas del organismo, lo que conduce a la acumulación excesiva de tejido adiposo y al desarrollo de sobrepeso u obesidad. Este tipo de malnutrición constituye uno de los problemas emergentes más importantes en salud pública, ya que se asocia con múltiples alteraciones metabólicas y con un mayor riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles (Olivares, 2000). Aunque históricamente se consideraba que las poblaciones que habitan en regiones altoandinas enfrentaban principalmente problemas de desnutrición, en las últimas décadas se ha evidenciado un incremento progresivo de la malnutrición por exceso en estas comunidades.

Este fenómeno se explica en gran medida por el proceso de **transición nutricional**, el cual describe los cambios en los patrones alimentarios y en los estilos de vida asociados con el desarrollo económico, la urbanización y la globalización de los sistemas alimentarios. En muchas regiones de altura, las dietas tradicionales basadas en alimentos naturales y mínimamente procesados han sido progresivamente reemplazadas por dietas con mayor contenido de grasas, azúcares refinados y alimentos ultraprocesados, lo que ha incrementado el consumo energético total (Caballero, 2017). Estos cambios dietéticos, combinados con una disminución de la actividad física, han favorecido el aumento del sobrepeso y la obesidad en diversas poblaciones altoandinas.

La malnutrición por exceso no solo implica un aumento del peso corporal, sino que también conlleva alteraciones metabólicas que afectan el funcionamiento normal del organismo. Entre las principales consecuencias se encuentran la resistencia a la insulina, la dislipidemia, la hipertensión arterial y el síndrome metabólico, condiciones que incrementan significativamente el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus tipo 2 (Díaz, 2006). Estas alteraciones metabólicas se relacionan con la acumulación excesiva de grasa corporal, especialmente en la región abdominal, la cual se asocia con mayor riesgo cardiometabólico.

En poblaciones que viven en regiones de gran altitud, la malnutrición por exceso adquiere características particulares debido a la interacción entre factores nutricionales y ambientales. La exposición crónica a la **hipoxia hipobárica** genera una serie de adaptaciones fisiológicas destinadas a mantener la oxigenación de los tejidos. Sin embargo, el exceso de tejido adiposo puede interferir con estos mecanismos adaptativos al afectar la función respiratoria y reducir la eficiencia del intercambio gaseoso en los pulmones (Navia et al., 2001). La acumulación de grasa abdominal puede limitar la expansión del tórax y disminuir los volúmenes pulmonares, lo que puede contribuir a estados de hipoxia tisular.

Esta situación puede resultar particularmente relevante en el contexto de la vida en altura, donde el organismo ya se encuentra expuesto a niveles reducidos de oxígeno ambiental. En individuos con obesidad, la disminución de la ventilación pulmonar y el aumento de la demanda metabólica de oxígeno pueden intensificar los efectos de la hipoxia, generando respuestas fisiológicas compensatorias como el aumento en la producción de eritrocitos. Este proceso puede contribuir al desarrollo de **eritrocitosis excesiva**, condición caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito (Gonzales, 2011).

Además de sus efectos sobre la función respiratoria, el tejido adiposo actúa como un órgano metabólicamente activo que produce diversas sustancias bioquímicas, entre ellas **citocinas proinflamatorias y adipocinas**, las cuales participan en la regulación del metabolismo energético y en la respuesta inflamatoria del organismo. En individuos con obesidad, el aumento en la producción de estas sustancias puede generar un estado de inflamación crónica de bajo grado que contribuye al desarrollo de alteraciones metabólicas y cardiovasculares (He et al., 2011). Este estado inflamatorio también puede influir en los procesos hematológicos y en la regulación de la eritropoyesis.

En el contexto de las poblaciones altoandinas, la malnutrición por exceso también se relaciona con factores socioeconómicos y culturales que influyen en los hábitos alimentarios. En muchas comunidades de altura, el acceso a alimentos frescos y variados puede ser limitado debido a las condiciones geográficas y climáticas, lo que favorece el consumo de alimentos de alta densidad energética y bajo contenido nutricional. Asimismo,

el aumento de la disponibilidad de productos industrializados ha modificado los patrones tradicionales de alimentación, contribuyendo al incremento del consumo de grasas saturadas, azúcares y sodio (Caballero, 2017).

Otro aspecto importante a considerar es el fenómeno conocido como **dobles carga de la malnutrición**, el cual se refiere a la coexistencia de desnutrición y obesidad dentro de una misma población, comunidad o incluso dentro del mismo hogar. Este fenómeno ha sido observado en diversas regiones de América Latina, incluyendo poblaciones de altura, donde algunos grupos presentan deficiencias nutricionales mientras que otros presentan exceso de peso corporal (Olivares, 2000). Esta situación refleja la complejidad de los problemas nutricionales actuales y la necesidad de abordarlos desde una perspectiva integral.

Desde el punto de vista epidemiológico, diversos estudios han demostrado que la prevalencia de sobrepeso y obesidad en poblaciones altoandinas ha aumentado significativamente en las últimas décadas. Este incremento se observa tanto en hombres como en mujeres y afecta especialmente a los adultos, aunque también se ha registrado un aumento en la prevalencia de exceso de peso en niños y adolescentes (Díaz, 2006). Estas tendencias sugieren que la malnutrición por exceso se ha convertido en un problema creciente que requiere atención desde la perspectiva de la salud pública.

Las implicancias de la malnutrición por exceso en poblaciones de altura no se limitan únicamente a las enfermedades metabólicas. El exceso de peso corporal también puede afectar la capacidad funcional, la calidad de vida y el desempeño físico de las personas. En contextos donde las actividades laborales requieren esfuerzo físico, como ocurre en muchas comunidades rurales de los Andes, estas limitaciones pueden tener consecuencias sociales y económicas importantes.

En este sentido, la prevención y el control de la malnutrición por exceso requieren la implementación de estrategias integrales que promuevan **hábitos alimentarios saludables y estilos de vida activos**. Estas estrategias deben considerar las características culturales, sociales y ambientales de las poblaciones de altura, así como la disponibilidad

local de alimentos y las prácticas tradicionales de alimentación. La promoción del consumo de alimentos nutritivos, la educación nutricional y el fomento de la actividad física constituyen herramientas fundamentales para reducir la prevalencia de sobrepeso y obesidad.

En conclusión, la malnutrición por exceso representa un problema emergente en las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud. Este fenómeno se relaciona con cambios en los patrones alimentarios, el sedentarismo y las transformaciones socioeconómicas que han modificado el equilibrio energético de las comunidades altoandinas. Además de sus implicancias metabólicas y cardiovasculares, el exceso de peso corporal puede influir en los procesos de adaptación fisiológica a la hipoxia, lo que resalta la importancia de comprender la relación entre nutrición, metabolismo y salud en poblaciones de altura.

1.1.6 Inflamación crónica y metabolismo energético

La **inflamación crónica de bajo grado** es un proceso fisiopatológico caracterizado por una activación persistente del sistema inmunológico que ocurre en ausencia de una infección aguda evidente. A diferencia de la inflamación aguda, que constituye una respuesta rápida y temporal frente a agentes infecciosos o lesiones tisulares, la inflamación crónica se mantiene durante largos periodos de tiempo y puede generar alteraciones en múltiples sistemas del organismo (Hotamisligil, 2006). En las últimas décadas, numerosos estudios han demostrado que este tipo de inflamación se encuentra estrechamente relacionada con el metabolismo energético y con diversas enfermedades metabólicas asociadas al exceso de peso corporal.

El metabolismo energético y el sistema inmunológico se encuentran profundamente interrelacionados. Las células inmunitarias requieren energía para llevar a cabo sus funciones, tales como la proliferación celular, la producción de citocinas y la respuesta frente a agentes patógenos. A su vez, las señales inflamatorias pueden modificar la forma en que el organismo utiliza y distribuye los nutrientes, lo que influye directamente en el equilibrio metabólico (Hotamisligil, 2006). Esta interacción entre metabolismo e

inflamación ha dado origen al concepto de **inmunometabolismo**, el cual describe la relación bidireccional entre los procesos metabólicos y las respuestas inmunológicas.

Uno de los principales factores asociados con la inflamación crónica es el **exceso de tejido adiposo**, especialmente la grasa visceral. Durante mucho tiempo el tejido adiposo fue considerado únicamente como una reserva energética; sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que este tejido funciona también como un órgano endocrino capaz de producir y secretar diversas moléculas bioactivas conocidas como **adipocinas** (Trayhurn y Wood, 2004). Entre estas sustancias se encuentran la leptina, la adiponectina, el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y diversas interleucinas, las cuales participan en la regulación del metabolismo energético y en los procesos inflamatorios.

En condiciones de obesidad, el aumento de la masa adiposa conduce a una mayor producción de citocinas proinflamatorias como el TNF- α , la interleucina-6 (IL-6) y otras moléculas que favorecen el desarrollo de un estado inflamatorio sistémico de bajo grado (Hotamisligil, 2006). Estas sustancias pueden interferir con la acción de la insulina en los tejidos periféricos, contribuyendo al desarrollo de **resistencia a la insulina**, una de las alteraciones metabólicas más importantes asociadas al sobrepeso y la obesidad. La resistencia a la insulina afecta la capacidad de las células para captar glucosa, lo que altera el metabolismo de los carbohidratos y favorece la aparición de hiperglucemia.

La inflamación crónica también puede modificar el metabolismo de los lípidos. En individuos con obesidad, el aumento de citocinas inflamatorias favorece la liberación de ácidos grasos libres desde el tejido adiposo hacia la circulación sanguínea. Este proceso puede conducir a una acumulación excesiva de lípidos en órganos como el hígado y el músculo, lo que contribuye al desarrollo de **dislipidemias y enfermedad hepática grasa no alcohólica** (Trayhurn y Wood, 2004). Estas alteraciones metabólicas incrementan el riesgo de enfermedades cardiovasculares y otras complicaciones asociadas al síndrome metabólico.

Otro aspecto relevante es el impacto de la inflamación crónica en el **gasto energético y en la regulación del apetito**. Las citocinas inflamatorias pueden afectar el funcionamiento de diversas hormonas que regulan el equilibrio energético, como la leptina y la grelina. La leptina, producida principalmente por el tejido adiposo, participa en la regulación del apetito y del gasto energético mediante su acción sobre el sistema nervioso central. En condiciones de obesidad, los niveles de leptina suelen estar elevados; sin embargo, puede desarrollarse una resistencia a esta hormona, lo que altera la regulación del apetito y favorece el consumo excesivo de alimentos (Hotamisligil, 2006).

En el contexto de las poblaciones que viven en **regiones de gran altitud**, la interacción entre inflamación crónica y metabolismo energético adquiere una relevancia particular. La exposición a la hipoxia hipobárica puede generar respuestas fisiológicas que influyen en los procesos inflamatorios del organismo. Algunos estudios han sugerido que la hipoxia puede estimular la producción de ciertas citocinas inflamatorias y modificar la actividad del sistema inmunológico (Gonzales, 2011). Estos cambios pueden afectar el metabolismo energético y la utilización de los nutrientes en el organismo.

Asimismo, la hipoxia puede activar mecanismos celulares regulados por el **factor inducible por hipoxia (HIF)**, el cual desempeña un papel importante en la regulación del metabolismo y en la adaptación del organismo a condiciones de baja disponibilidad de oxígeno. La activación del HIF puede modificar la expresión de genes relacionados con la glucólisis, el metabolismo de los lípidos y la angiogénesis, contribuyendo a la adaptación metabólica frente a la hipoxia (Semenza, 2012). Sin embargo, en algunos casos estos cambios también pueden estar asociados con procesos inflamatorios.

En poblaciones altoandinas, la coexistencia de **obesidad, inflamación crónica y exposición a la hipoxia** puede generar un escenario fisiológico complejo. El exceso de tejido adiposo puede favorecer la inflamación sistémica y alterar la regulación del metabolismo energético, mientras que la hipoxia ambiental puede intensificar las respuestas metabólicas y hematológicas del organismo. Estas interacciones pueden influir en procesos

fisiológicos importantes, como la regulación de la eritropoyesis y la adaptación del organismo a la altura.

La inflamación crónica también puede tener implicancias en la regulación del metabolismo del hierro y en la producción de células sanguíneas. Diversas citocinas inflamatorias pueden afectar la producción de **hepcidina**, una hormona que regula la absorción y distribución del hierro en el organismo. Alteraciones en el metabolismo del hierro pueden influir en la producción de hemoglobina y en los procesos de eritropoyesis, lo que podría tener relevancia en el contexto de la eritrocitosis en poblaciones de altura (Allen y Ahluwalia, 1997).

Desde la perspectiva de la salud pública, la relación entre inflamación crónica y metabolismo energético destaca la importancia de promover **estilos de vida saludables** que incluyan una alimentación equilibrada y niveles adecuados de actividad física. La reducción del exceso de peso corporal puede contribuir a disminuir la producción de citocinas inflamatorias y mejorar el equilibrio metabólico del organismo. Asimismo, la adopción de dietas ricas en frutas, verduras, fibra y grasas saludables puede tener efectos antiinflamatorios que favorezcan la salud metabólica.

En conclusión, la inflamación crónica de bajo grado constituye un mecanismo fisiopatológico estrechamente relacionado con el metabolismo energético y con diversas alteraciones metabólicas asociadas al exceso de peso corporal. Este proceso implica la interacción entre el sistema inmunológico, el tejido adiposo y los mecanismos regulatorios del metabolismo. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estas interacciones pueden verse influenciadas por la exposición a la hipoxia ambiental, lo que resalta la importancia de comprender el papel de la inflamación en la regulación del metabolismo energético y en la salud de las poblaciones de altura.

1.1.7 Relación entre obesidad y enfermedades crónicas no transmisibles

La **obesidad** es una condición caracterizada por la acumulación excesiva de tejido adiposo que puede comprometer la salud y aumentar significativamente el riesgo de

desarrollar diversas **enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT)**. Estas enfermedades, que incluyen principalmente la diabetes mellitus tipo 2, la hipertensión arterial, las enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer, representan actualmente una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, 2020). El incremento en la prevalencia de obesidad observado en las últimas décadas ha contribuido de manera importante al aumento de estas patologías en diferentes poblaciones.

Desde una perspectiva fisiológica, la obesidad no debe entenderse únicamente como un exceso de peso corporal, sino como una condición metabólica compleja que implica alteraciones en múltiples sistemas del organismo. El tejido adiposo, particularmente el **tejido adiposo visceral**, desempeña un papel activo en la regulación metabólica mediante la producción de diversas sustancias bioquímicas conocidas como adipocinas. Estas moléculas influyen en procesos como la regulación del apetito, el metabolismo energético, la inflamación y la sensibilidad a la insulina (Trayhurn y Wood, 2004).

En individuos con obesidad, el aumento de la masa adiposa se asocia con una mayor producción de **citocinas proinflamatorias**, entre ellas el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y la interleucina-6 (IL-6). Estas sustancias promueven un estado de inflamación crónica de bajo grado que puede interferir con diversos procesos metabólicos del organismo (Hotamisligil, 2006). Uno de los principales efectos de esta inflamación es la aparición de **resistencia a la insulina**, una alteración metabólica en la cual las células del organismo pierden la capacidad de responder adecuadamente a la acción de esta hormona.

La resistencia a la insulina constituye un factor clave en el desarrollo de la **diabetes mellitus tipo 2**, enfermedad caracterizada por niveles elevados de glucosa en sangre debido a alteraciones en la secreción o en la acción de la insulina. En individuos con obesidad, la acumulación de grasa en tejidos como el hígado y el músculo puede alterar el metabolismo de la glucosa y favorecer el desarrollo de hiperglucemia crónica (WHO, 2020). Esta condición puede provocar complicaciones a largo plazo que afectan órganos como los riñones, los ojos, el sistema nervioso y el sistema cardiovascular.

Otra enfermedad estrechamente relacionada con la obesidad es la **hipertensión arterial**, condición caracterizada por un aumento persistente de la presión sanguínea. El exceso de tejido adiposo puede contribuir al desarrollo de hipertensión mediante diversos mecanismos, entre ellos el aumento de la actividad del sistema nervioso simpático, la alteración de la función endotelial y la activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona (Díaz, 2006). Estos procesos pueden generar cambios en la regulación de la presión arterial y aumentar la carga de trabajo del corazón.

Las **enfermedades cardiovasculares**, como la cardiopatía isquémica y el accidente cerebrovascular, también se encuentran fuertemente asociadas con la obesidad. El exceso de peso corporal puede favorecer el desarrollo de factores de riesgo cardiovasculares como dislipidemia, hipertensión y resistencia a la insulina, los cuales contribuyen a la formación de placas ateroscleróticas en las arterias. La aterosclerosis puede reducir el flujo sanguíneo hacia órganos vitales, aumentando el riesgo de eventos cardiovasculares graves (WHO, 2020).

Además de las enfermedades metabólicas y cardiovasculares, la obesidad se ha relacionado con un mayor riesgo de desarrollar ciertos tipos de **cáncer**, entre ellos el cáncer de mama, colon, endometrio y riñón. Se ha sugerido que los cambios hormonales, la inflamación crónica y las alteraciones en el metabolismo de los lípidos y la glucosa pueden contribuir a la proliferación celular anormal y al desarrollo de procesos tumorales (Hotamisligil, 2006). Estos hallazgos evidencian la compleja interacción entre obesidad y diversos mecanismos fisiopatológicos asociados a enfermedades crónicas.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la relación entre obesidad y enfermedades crónicas no transmisibles adquiere características particulares debido a la influencia de factores ambientales como la hipoxia hipobárica. La exposición a niveles reducidos de oxígeno puede generar adaptaciones fisiológicas que afectan el metabolismo energético, la función cardiovascular y la regulación hematológica (Gonzales, 2011). Cuando estas condiciones se combinan con el exceso de peso corporal, pueden aumentar el riesgo de alteraciones metabólicas y cardiovasculares.

Por ejemplo, el exceso de tejido adiposo puede afectar la **función respiratoria**, reduciendo la capacidad pulmonar y limitando la eficiencia del intercambio gaseoso. En poblaciones que viven en altura, donde la disponibilidad de oxígeno ya es limitada, estas alteraciones pueden intensificar los efectos de la hipoxia y generar mayores demandas fisiológicas para el organismo (Navia et al., 2001). Esta situación puede contribuir al desarrollo de complicaciones cardiovasculares y a un mayor riesgo de enfermedades relacionadas con la circulación sanguínea.

Asimismo, diversos estudios han señalado que la obesidad puede influir en la aparición de **eritrocitosis excesiva**, condición caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito en poblaciones que viven en altitudes elevadas. El exceso de peso corporal puede favorecer estados de hipoxia tisular debido a la reducción de la eficiencia respiratoria y al aumento de la demanda metabólica de oxígeno. Como respuesta compensatoria, el organismo puede incrementar la producción de eritrocitos mediante la estimulación de la eritropoyetina (Gonzales, 2011).

Desde la perspectiva epidemiológica, el aumento de la obesidad en poblaciones de altura ha sido acompañado por un incremento en la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles. Este fenómeno refleja cambios en los estilos de vida, particularmente en los hábitos alimentarios y en los niveles de actividad física. La adopción de dietas con mayor contenido energético y el aumento del sedentarismo han contribuido al desarrollo de desequilibrios metabólicos que favorecen la aparición de estas enfermedades (Caballero, 2017).

Frente a esta situación, la prevención de la obesidad se ha convertido en una prioridad para la salud pública. Las estrategias preventivas incluyen la promoción de **dietas equilibradas, actividad física regular y educación nutricional**, así como políticas orientadas a mejorar el acceso a alimentos saludables y a reducir el consumo de productos ultraprocesados. Estas medidas son fundamentales para reducir la carga de enfermedades crónicas y mejorar la calidad de vida de las poblaciones.

En síntesis, la obesidad constituye un factor de riesgo importante para el desarrollo de diversas enfermedades crónicas no transmisibles. Su impacto en la salud se relaciona con alteraciones metabólicas, inflamatorias y hormonales que afectan múltiples sistemas del organismo. En poblaciones que viven en regiones de gran altitud, la interacción entre obesidad, hipoxia ambiental y procesos metabólicos puede intensificar estos efectos, lo que resalta la importancia de comprender la relación entre nutrición, metabolismo y salud en el contexto de la vida en altura.

1.1.8 Impacto del estado nutricional en la función respiratoria

El **estado nutricional** desempeña un papel fundamental en el adecuado funcionamiento del sistema respiratorio, ya que influye en la estructura anatómica, la función muscular y los procesos metabólicos necesarios para la ventilación pulmonar y el intercambio gaseoso. La respiración es un proceso fisiológico esencial que permite la entrada de oxígeno al organismo y la eliminación de dióxido de carbono, garantizando así el mantenimiento del metabolismo celular y la producción de energía (West, 2012). Alteraciones en el estado nutricional, tanto por déficit como por exceso, pueden afectar significativamente la eficiencia de este sistema.

El sistema respiratorio depende del correcto funcionamiento de diversos componentes anatómicos y fisiológicos, entre ellos los pulmones, la caja torácica, el diafragma y los músculos respiratorios. Estos músculos requieren un adecuado aporte de energía y nutrientes para mantener su capacidad contráctil y su resistencia durante el proceso respiratorio. En situaciones de **desnutrición**, la pérdida de masa muscular puede afectar también a los músculos respiratorios, reduciendo su fuerza y su capacidad para mantener una ventilación adecuada (Gonzales, 2011). Esta condición puede disminuir la capacidad pulmonar y comprometer la oxigenación de los tejidos.

Por otro lado, el **exceso de peso corporal**, particularmente la obesidad, puede generar alteraciones mecánicas en el sistema respiratorio. La acumulación de tejido adiposo en la región torácica y abdominal puede limitar la expansión del tórax y del diafragma, reduciendo los volúmenes pulmonares y la capacidad ventilatoria. Esta restricción mecánica

puede provocar una disminución de la **capacidad vital y de la capacidad pulmonar total**, lo que afecta la eficiencia del intercambio gaseoso en los pulmones (Navia et al., 2001).

Además de las limitaciones mecánicas, la obesidad también puede influir en la regulación de la ventilación pulmonar. El aumento de la masa corporal implica una mayor demanda metabólica de oxígeno por parte de los tejidos, lo que incrementa el trabajo respiratorio necesario para mantener una adecuada oxigenación. Sin embargo, la reducción de la capacidad pulmonar y la alteración en la mecánica respiratoria pueden dificultar la respuesta ventilatoria del organismo frente a esta mayor demanda energética (West, 2012). Como consecuencia, pueden generarse estados de **hipoventilación** que afectan la concentración de oxígeno en la sangre.

Uno de los trastornos respiratorios asociados al exceso de peso corporal es el **síndrome de hipoventilación por obesidad**, condición caracterizada por niveles elevados de dióxido de carbono en sangre debido a una ventilación pulmonar insuficiente. Este síndrome se relaciona con la reducción de la movilidad de la caja torácica, el aumento del trabajo respiratorio y alteraciones en el control ventilatorio central. En muchos casos, esta condición se acompaña de **apnea obstructiva del sueño**, trastorno respiratorio caracterizado por episodios repetidos de obstrucción de las vías respiratorias durante el sueño (West, 2012).

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el impacto del estado nutricional en la función respiratoria adquiere una relevancia particular. La vida en altura se caracteriza por la presencia de **hipoxia hipobárica**, condición que implica una menor presión parcial de oxígeno en el ambiente. Para compensar esta reducción en la disponibilidad de oxígeno, el organismo desarrolla mecanismos adaptativos que incluyen un aumento de la ventilación pulmonar, cambios en la circulación sanguínea y un incremento en la producción de glóbulos rojos (Gonzales, 2011).

Cuando el estado nutricional se encuentra alterado, estos mecanismos adaptativos pueden verse comprometidos. En individuos con obesidad, la restricción mecánica del

sistema respiratorio puede limitar la capacidad del organismo para incrementar la ventilación en respuesta a la hipoxia ambiental. Esta situación puede reducir la eficiencia del intercambio gaseoso en los pulmones y favorecer la aparición de **hipoxia tisular**, condición que estimula mecanismos compensatorios como el aumento en la producción de eritropoyetina y la formación de eritrocitos (Navia et al., 2001).

Asimismo, el exceso de tejido adiposo puede influir en la distribución del flujo sanguíneo pulmonar y en la eficiencia de la difusión de oxígeno a través de la membrana alveolocapilar. Estos cambios pueden afectar la capacidad del sistema respiratorio para mantener niveles adecuados de oxígeno en la sangre, especialmente en condiciones de baja disponibilidad ambiental de oxígeno como ocurre en las zonas de gran altitud (West, 2012).

Por otro lado, el estado nutricional también puede influir en la capacidad funcional del sistema respiratorio mediante su efecto sobre la **composición corporal**. La masa muscular desempeña un papel importante en la ventilación pulmonar, ya que los músculos respiratorios requieren fuerza y resistencia para mantener un patrón respiratorio adecuado. En individuos con malnutrición o con pérdida de masa muscular, la debilidad de los músculos respiratorios puede disminuir la eficiencia ventilatoria y aumentar el esfuerzo respiratorio.

En poblaciones de altura, donde el organismo debe mantener una ventilación aumentada para compensar la hipoxia ambiental, la integridad funcional de los músculos respiratorios resulta especialmente importante. Un estado nutricional adecuado contribuye a mantener la masa muscular y la capacidad respiratoria necesaria para enfrentar las condiciones ambientales de baja disponibilidad de oxígeno (Gonzales, 2011).

Asimismo, algunos nutrientes desempeñan un papel importante en la función respiratoria. Por ejemplo, los **antioxidantes** presentes en frutas y verduras pueden contribuir a proteger los tejidos pulmonares frente al estrés oxidativo generado por la hipoxia. Del mismo modo, nutrientes como las proteínas y ciertos minerales son necesarios para

mantener la estructura y función de los músculos respiratorios y del tejido pulmonar (Mariño-García et al., 2009).

Desde la perspectiva de la salud pública, comprender la relación entre estado nutricional y función respiratoria es fundamental para el diseño de estrategias de prevención y promoción de la salud en poblaciones que viven en altitudes elevadas. La identificación de factores nutricionales que afectan la capacidad respiratoria puede contribuir al desarrollo de intervenciones orientadas a mejorar la oxigenación tisular y reducir el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

En conclusión, el estado nutricional influye de manera significativa en la función respiratoria a través de mecanismos mecánicos, metabólicos y fisiológicos que afectan la ventilación pulmonar y el intercambio gaseoso. Tanto la desnutrición como la obesidad pueden alterar la eficiencia del sistema respiratorio, comprometiendo la capacidad del organismo para mantener una adecuada oxigenación de los tejidos. En el contexto de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estas alteraciones adquieren una importancia particular debido a la presencia de hipoxia ambiental, lo que resalta la necesidad de considerar el estado nutricional como un factor clave en la salud respiratoria y en la adaptación fisiológica a la altura.

1.1.9 Relación entre adiposidad y metabolismo del oxígeno

La **adiposidad**, entendida como la acumulación de tejido adiposo en el organismo, representa un componente importante del estado nutricional y ejerce una influencia significativa sobre diversos procesos fisiológicos, entre ellos el **metabolismo del oxígeno**. El oxígeno es un elemento esencial para el metabolismo celular, ya que participa en las reacciones bioquímicas que permiten la producción de energía a través de la respiración celular. Cualquier factor que altere la disponibilidad, el transporte o la utilización del oxígeno puede afectar el equilibrio metabólico del organismo y comprometer su funcionamiento fisiológico (West, 2012).

El metabolismo del oxígeno se relaciona principalmente con los procesos de **respiración pulmonar, transporte sanguíneo y utilización celular del oxígeno**. En primer lugar, el oxígeno ingresa al organismo a través del sistema respiratorio mediante el proceso de ventilación pulmonar. Posteriormente, el oxígeno difunde a través de la membrana alveolocapilar hacia la sangre, donde se une a la hemoglobina presente en los glóbulos rojos para ser transportado hacia los tejidos. Finalmente, en las células, el oxígeno participa en la cadena de transporte de electrones en las mitocondrias, permitiendo la producción de adenosín trifosfato (ATP), que constituye la principal fuente de energía del organismo (Esquivel, 2005).

La presencia de **exceso de tejido adiposo** puede influir en cada una de estas etapas del metabolismo del oxígeno. En primer lugar, la adiposidad, especialmente cuando se localiza en la región abdominal y torácica, puede generar alteraciones en la mecánica respiratoria. El aumento del volumen de tejido adiposo en la cavidad abdominal puede ejercer presión sobre el diafragma, limitando su movilidad y reduciendo la capacidad de expansión pulmonar. Esta restricción mecánica puede disminuir los volúmenes pulmonares y afectar la eficiencia de la ventilación pulmonar (Navia et al., 2001).

Además, la acumulación de tejido adiposo puede aumentar el **trabajo respiratorio**, ya que los músculos respiratorios deben realizar un mayor esfuerzo para mantener una ventilación adecuada. Este incremento en el esfuerzo respiratorio puede afectar la eficiencia del intercambio gaseoso y generar una disminución en la saturación de oxígeno en la sangre, especialmente en individuos con obesidad severa (West, 2012). Como consecuencia, el organismo puede experimentar episodios de hipoxia leve o moderada, particularmente durante el sueño o durante actividades físicas.

Otro aspecto importante es que el tejido adiposo no es un tejido metabólicamente inactivo. Por el contrario, el tejido adiposo consume oxígeno para mantener sus funciones metabólicas y para sostener los procesos celulares que ocurren en su interior. Cuando la cantidad de tejido adiposo aumenta significativamente, también lo hace la **demand metabólica de oxígeno**, lo que puede generar un mayor requerimiento de suministro de

oxígeno por parte del sistema cardiovascular y respiratorio (Trayhurn y Wood, 2004). Esta situación puede generar un desequilibrio entre la demanda y la disponibilidad de oxígeno en los tejidos.

La obesidad también se asocia con alteraciones en la **microcirculación y en la perfusión tisular**, lo que puede afectar la distribución del oxígeno en los tejidos. El aumento del tejido adiposo puede provocar cambios en la estructura de los vasos sanguíneos y en la regulación del flujo sanguíneo, lo que puede limitar la entrega eficiente de oxígeno a determinadas áreas del organismo. Estas alteraciones pueden contribuir al desarrollo de estados de hipoxia tisular localizada, especialmente en tejidos con elevada actividad metabólica (Hotamisligil, 2006).

Además, el tejido adiposo produce diversas moléculas bioactivas, conocidas como **adipocinas**, que participan en la regulación del metabolismo energético y en la respuesta inflamatoria del organismo. En individuos con obesidad, el aumento en la producción de citocinas proinflamatorias puede generar un estado de inflamación crónica de bajo grado que afecta diversos procesos metabólicos, incluido el metabolismo del oxígeno. Esta inflamación puede alterar la función mitocondrial y reducir la eficiencia de la producción de energía a nivel celular (Trayhurn y Wood, 2004).

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la relación entre adiposidad y metabolismo del oxígeno adquiere una importancia particular. La vida en altura se caracteriza por la presencia de **hipoxia hipobárica**, condición en la que la presión parcial de oxígeno en el ambiente es menor que a nivel del mar. Esta situación obliga al organismo a desarrollar mecanismos adaptativos destinados a mejorar el transporte y la utilización del oxígeno (Gonzales, 2011).

Cuando un individuo presenta un exceso de adiposidad en condiciones de altura, pueden generarse efectos combinados que afectan el metabolismo del oxígeno. Por un lado, la hipoxia ambiental reduce la disponibilidad de oxígeno; por otro lado, la obesidad puede disminuir la eficiencia de la ventilación pulmonar y aumentar la demanda metabólica de

oxígeno. Esta combinación de factores puede favorecer estados de **hipoxia tisular**, lo que estimula respuestas fisiológicas compensatorias como el aumento en la producción de eritropoyetina y el incremento en la formación de eritrocitos (Navia et al., 2001).

Este mecanismo compensatorio tiene como objetivo mejorar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre mediante el aumento de la concentración de hemoglobina. Sin embargo, cuando la respuesta eritropoyética es excesiva puede desarrollarse una condición conocida como **eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico**, caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito que aumentan la viscosidad sanguínea y pueden generar complicaciones cardiovasculares (Gonzales, 2011).

Además, algunos estudios han sugerido que la obesidad puede afectar la **regulación ventilatoria frente a la hipoxia**, alterando la sensibilidad de los quimiorreceptores responsables de detectar los cambios en la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre. Estas alteraciones pueden influir en la capacidad del organismo para responder adecuadamente a las condiciones de hipoxia ambiental presentes en la altura (West, 2012).

Desde la perspectiva del metabolismo energético, la relación entre adiposidad y metabolismo del oxígeno también se vincula con la eficiencia de las **mitocondrias**, las cuales son responsables de la producción de energía en las células. En individuos con obesidad, se ha observado una reducción en la eficiencia mitocondrial y un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno, lo que puede generar estrés oxidativo y contribuir al desarrollo de alteraciones metabólicas (Hotamisligil, 2006).

En síntesis, la adiposidad puede influir significativamente en el metabolismo del oxígeno a través de diversos mecanismos que afectan la ventilación pulmonar, el transporte sanguíneo y la utilización celular del oxígeno. El exceso de tejido adiposo puede aumentar la demanda metabólica de oxígeno, alterar la mecánica respiratoria y modificar la distribución del flujo sanguíneo en los tejidos. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estas alteraciones pueden intensificarse debido a la presencia de hipoxia

ambiental, lo que resalta la importancia de comprender la relación entre adiposidad, metabolismo del oxígeno y adaptación fisiológica a la altura.

1.2 Nociones básicas de la variable

El **estado nutricional** constituye una variable fundamental en el estudio de la salud humana, ya que refleja el resultado del equilibrio entre la ingesta de nutrientes, el gasto energético y la capacidad del organismo para utilizar los nutrientes disponibles. Su evaluación permite comprender cómo los hábitos alimentarios, el metabolismo y las condiciones fisiológicas influyen en el funcionamiento del organismo y en el desarrollo de diversas enfermedades. En el ámbito de la investigación nutricional y epidemiológica, el análisis del estado nutricional se realiza mediante un conjunto de indicadores y métodos que permiten medir de manera objetiva la composición corporal, la distribución de la grasa y los posibles riesgos asociados a alteraciones nutricionales.

En poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el estudio del estado nutricional adquiere una relevancia particular debido a la interacción entre factores nutricionales y condiciones ambientales específicas. La hipoxia hipobárica característica de estas regiones genera adaptaciones fisiológicas que pueden modificar el metabolismo energético, la función respiratoria y la regulación hematológica del organismo (Gonzales, 2011). Estas adaptaciones pueden influir en la forma en que el cuerpo utiliza los nutrientes y en cómo determinadas condiciones nutricionales, como el sobrepeso o la obesidad, afectan la salud de las personas que viven en altitudes elevadas.

Para comprender adecuadamente el papel del estado nutricional en este contexto, es necesario analizar las **nociones básicas que permiten medir y evaluar esta variable**. La evaluación nutricional se basa en la utilización de indicadores antropométricos, bioquímicos, clínicos y dietéticos que permiten identificar alteraciones en la composición corporal y en el equilibrio energético del organismo. Entre estos indicadores, los métodos antropométricos constituyen herramientas ampliamente utilizadas en estudios poblacionales

debido a su facilidad de aplicación, bajo costo y utilidad para identificar riesgos nutricionales (Díaz, 2006).

Uno de los indicadores más utilizados en la evaluación del estado nutricional es el **índice de masa corporal (IMC)**, que relaciona el peso corporal con la talla y permite clasificar a los individuos en diferentes categorías nutricionales, como bajo peso, peso normal, sobrepeso u obesidad. Este indicador ha sido ampliamente utilizado en estudios epidemiológicos para analizar la prevalencia de alteraciones nutricionales y su relación con diversas enfermedades crónicas (Organización Mundial de la Salud, 2000). Sin embargo, aunque el IMC proporciona información útil sobre el estado nutricional general, no permite evaluar con precisión la distribución de la grasa corporal ni la composición corporal total.

Por esta razón, en la evaluación nutricional también se utilizan otros indicadores complementarios que permiten analizar la **distribución de la grasa corporal y el riesgo cardiometabólico**. Entre estos indicadores se encuentran la circunferencia de cintura, el índice cintura-estatura y otros parámetros que permiten identificar la presencia de adiposidad central, condición que se asocia con un mayor riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares (Caballero, 2017). La distribución de la grasa corporal es particularmente importante, ya que la acumulación de grasa visceral puede tener efectos metabólicos más perjudiciales que la acumulación de grasa subcutánea.

Además de los indicadores antropométricos, la evaluación del estado nutricional puede complementarse con métodos que permiten analizar la **composición corporal**, es decir, la proporción de masa grasa, masa muscular, agua corporal y otros componentes del organismo. Técnicas como la bioimpedancia eléctrica, la absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA) y otros métodos de análisis corporal permiten obtener información más precisa sobre la estructura corporal y el equilibrio entre los diferentes compartimentos del organismo (Esquivel, 2005).

En el contexto de la vida en altura, el análisis de la composición corporal y de los indicadores nutricionales resulta particularmente relevante, ya que estos factores pueden

influir en la **capacidad de adaptación fisiológica a la hipoxia**. La presencia de exceso de grasa corporal puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede generar estados de hipoxia tisular y estimular mecanismos compensatorios como el incremento de la producción de eritrocitos (Navia et al., 2001). De esta manera, el estado nutricional puede influir indirectamente en procesos hematológicos como la eritropoyesis.

Asimismo, el estudio de las nociones básicas del estado nutricional permite comprender la relación entre **nutrición, metabolismo y riesgo de enfermedades crónicas**. Alteraciones en la composición corporal y en el equilibrio energético del organismo pueden favorecer el desarrollo de enfermedades metabólicas, cardiovasculares y respiratorias, las cuales representan un importante problema de salud pública en muchas poblaciones (Organización Mundial de la Salud, 2020). La identificación temprana de estas alteraciones mediante la evaluación nutricional constituye una herramienta importante para la prevención y el control de estas enfermedades.

En el caso de las poblaciones altoandinas, el análisis del estado nutricional también permite comprender cómo los cambios en los **patrones alimentarios y en los estilos de vida** han modificado el perfil epidemiológico de estas comunidades. El aumento en la disponibilidad de alimentos procesados, la urbanización y la disminución de la actividad física han contribuido al incremento del sobrepeso y la obesidad en diversas regiones de altura (Caballero, 2017). Estas transformaciones han generado nuevos desafíos para la salud pública, especialmente en relación con el aumento de enfermedades crónicas no transmisibles.

En este contexto, la presente sección aborda las **nociones básicas relacionadas con la evaluación del estado nutricional**, incluyendo los principales indicadores antropométricos, métodos de análisis de la composición corporal y herramientas utilizadas para identificar riesgos nutricionales. El análisis de estos conceptos permite comprender cómo se mide y se interpreta el estado nutricional en estudios científicos y cómo esta

variable puede influir en la salud de las poblaciones que viven en condiciones ambientales particulares como las regiones de gran altitud.

Comprender estas nociones básicas resulta fundamental para el desarrollo de investigaciones que analicen la relación entre nutrición, metabolismo y procesos fisiológicos asociados a la vida en altura. Asimismo, proporciona las bases conceptuales necesarias para interpretar los resultados de estudios epidemiológicos y para diseñar intervenciones orientadas a mejorar la salud nutricional de las poblaciones.

1.2.1 Evaluación antropométrica del estado nutricional

La **evaluación antropométrica del estado nutricional** constituye uno de los métodos más utilizados para analizar la condición nutricional de individuos y poblaciones. La antropometría se basa en la medición de las dimensiones y proporciones del cuerpo humano, permitiendo estimar la composición corporal y detectar alteraciones relacionadas con el crecimiento, la desnutrición o el exceso de peso (Gibson, 2005). Debido a su simplicidad, bajo costo y facilidad de aplicación en estudios epidemiológicos, la antropometría es una herramienta fundamental en la investigación nutricional y en la vigilancia de la salud pública.

Desde una perspectiva conceptual, la antropometría permite evaluar el **equilibrio entre la ingesta energética y el gasto metabólico**, reflejado en el tamaño corporal y en la distribución de la masa corporal. Estos indicadores proporcionan información indirecta sobre el estado nutricional del organismo, permitiendo identificar tanto déficits nutricionales como exceso de adiposidad. La Organización Mundial de la Salud reconoce la antropometría como uno de los métodos más adecuados para la evaluación nutricional en poblaciones debido a su capacidad para detectar cambios en el estado nutricional a lo largo del tiempo (OMS, 2000).

Entre las mediciones antropométricas más utilizadas se encuentran el **peso corporal, la talla, el índice de masa corporal (IMC), la circunferencia de cintura, la circunferencia de cadera y los pliegues cutáneos**. Cada uno de estos indicadores

proporciona información específica sobre la composición corporal y sobre la distribución del tejido adiposo en el organismo. La combinación de estas mediciones permite obtener una evaluación más completa del estado nutricional de los individuos.

El **peso corporal** es una de las medidas antropométricas más básicas y representa la masa total del cuerpo, incluyendo tejidos, órganos, líquidos y reservas energéticas. La medición del peso se realiza generalmente mediante balanzas calibradas y debe efectuarse bajo condiciones estandarizadas para garantizar la precisión de los resultados. Aunque el peso corporal por sí solo no permite diferenciar entre masa grasa y masa magra, constituye un indicador útil cuando se analiza en relación con otras variables antropométricas, como la talla (Gibson, 2005).

La **talla o estatura** representa la longitud del cuerpo humano desde la planta de los pies hasta el vértice de la cabeza. Esta medida refleja principalmente el crecimiento óseo y está influenciada por factores genéticos, nutricionales y ambientales. En adultos, la talla se mantiene relativamente estable, por lo que su principal utilidad en la evaluación nutricional radica en su relación con el peso corporal para el cálculo del índice de masa corporal. La medición de la talla se realiza utilizando un estadiómetro y debe efectuarse con el individuo en posición erguida y sin calzado.

A partir de la relación entre peso y talla se calcula el **índice de masa corporal (IMC)**, uno de los indicadores más utilizados para evaluar el estado nutricional en adultos. Este índice se obtiene dividiendo el peso corporal en kilogramos entre el cuadrado de la talla en metros (kg/m^2). Según los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud, el IMC permite clasificar a los individuos en diferentes categorías nutricionales: bajo peso, peso normal, sobrepeso y obesidad (OMS, 2000). Aunque el IMC es ampliamente utilizado en estudios epidemiológicos, presenta ciertas limitaciones, ya que no distingue entre masa muscular y masa grasa ni proporciona información sobre la distribución de la grasa corporal.

Para complementar la información proporcionada por el IMC, se utilizan otras mediciones antropométricas que permiten evaluar la **distribución de la grasa corporal**.

Entre estas mediciones destaca la **circunferencia de cintura**, indicador que permite estimar la acumulación de grasa abdominal o visceral. La adiposidad central se asocia con un mayor riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares, por lo que su evaluación resulta fundamental en la identificación de riesgos para la salud (Caballero, 2017). La circunferencia de cintura se mide generalmente a nivel del punto medio entre la última costilla y la cresta ilíaca.

Otro indicador utilizado para evaluar la distribución de la grasa corporal es la **circunferencia de cadera**, que se mide en la parte más prominente de los glúteos. La relación entre la circunferencia de cintura y la circunferencia de cadera, conocida como **índice cintura-cadera**, permite evaluar el patrón de distribución de la grasa corporal. Valores elevados de este índice indican una mayor acumulación de grasa abdominal, lo que se asocia con un mayor riesgo cardiometabólico (Gibson, 2005).

Los **pliegues cutáneos** constituyen otra herramienta antropométrica utilizada para estimar la cantidad de grasa subcutánea presente en el organismo. Estas mediciones se realizan utilizando un calibrador especial que permite medir el grosor del tejido adiposo en diferentes puntos del cuerpo, como el tríceps, el bíceps, el subescapular y el suprailíaco. A partir de estas mediciones es posible estimar el porcentaje de grasa corporal mediante ecuaciones específicas desarrolladas para diferentes poblaciones.

La evaluación antropométrica también puede complementarse con indicadores que permiten analizar la **composición corporal**, es decir, la proporción relativa de masa grasa, masa muscular y otros componentes del organismo. Aunque las mediciones antropométricas no proporcionan una estimación directa de estos compartimentos corporales, permiten realizar aproximaciones útiles que contribuyen a la evaluación del estado nutricional en estudios poblacionales.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la evaluación antropométrica adquiere una importancia particular debido a la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia. La composición corporal

puede influir en la capacidad respiratoria, en el metabolismo energético y en la regulación de procesos hematológicos como la eritropoyesis (Gonzales, 2011). Por ejemplo, el exceso de grasa corporal puede afectar la función respiratoria al limitar la expansión torácica y aumentar la demanda metabólica de oxígeno.

Asimismo, la evaluación antropométrica permite identificar patrones de **sobrepeso y obesidad** en poblaciones de altura, lo que resulta relevante para comprender la relación entre el estado nutricional y diversas condiciones de salud. Diversos estudios han demostrado que el exceso de peso corporal puede influir en la respuesta fisiológica del organismo frente a la hipoxia ambiental, favoreciendo estados de hipoxia tisular que pueden estimular la producción de eritrocitos (Navia et al., 2001).

Desde la perspectiva de la salud pública, la antropometría constituye una herramienta fundamental para el **monitoreo del estado nutricional de las poblaciones**. Su aplicación en estudios epidemiológicos permite identificar grupos de riesgo, evaluar la magnitud de problemas nutricionales y orientar la implementación de programas de intervención nutricional. Además, la repetición periódica de mediciones antropométricas permite evaluar cambios en el estado nutricional a lo largo del tiempo y analizar el impacto de políticas de salud pública.

En síntesis, la evaluación antropométrica del estado nutricional representa un método práctico y confiable para analizar la composición corporal y detectar alteraciones nutricionales en individuos y poblaciones. Mediante la medición de variables como el peso, la talla, el índice de masa corporal y la circunferencia de cintura, es posible identificar tanto deficiencias nutricionales como exceso de adiposidad. En el contexto de las poblaciones que viven en regiones de gran altitud, estas evaluaciones permiten comprender mejor la relación entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica, proporcionando información valiosa para la investigación científica y la planificación de intervenciones en salud.

1.2.2 Índice de masa corporal (IMC) como indicador nutricional

El **índice de masa corporal (IMC)** es uno de los indicadores antropométricos más utilizados para evaluar el estado nutricional de los individuos y de las poblaciones. Este indicador permite estimar la relación entre el peso corporal y la talla, proporcionando una medida indirecta del grado de adiposidad corporal. Debido a su simplicidad, bajo costo y facilidad de aplicación, el IMC se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada en estudios epidemiológicos, en la práctica clínica y en programas de salud pública para la identificación de problemas nutricionales como el bajo peso, el sobrepeso y la obesidad (Organización Mundial de la Salud, 2000).

El IMC se calcula mediante una fórmula que relaciona el peso corporal en kilogramos con el cuadrado de la talla expresada en metros. Matemáticamente, se expresa de la siguiente manera:

$$\text{IMC} = \text{peso (kg)} / \text{talla}^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

Este indicador permite clasificar el estado nutricional de los adultos en diferentes categorías establecidas por la Organización Mundial de la Salud. De acuerdo con estos criterios, un IMC inferior a 18,5 kg/m² se considera bajo peso; valores entre 18,5 y 24,9 kg/m² corresponden a peso normal; valores entre 25,0 y 29,9 kg/m² indican sobrepeso; y valores iguales o superiores a 30 kg/m² se clasifican como obesidad (OMS, 2000). Estas categorías permiten identificar el riesgo potencial de desarrollar diversas enfermedades asociadas con alteraciones nutricionales.

Desde el punto de vista epidemiológico, el IMC ha demostrado ser un indicador útil para evaluar la prevalencia de **sobrepeso y obesidad** en diferentes poblaciones. Numerosos estudios han mostrado una asociación entre valores elevados de IMC y un mayor riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes mellitus tipo 2, la hipertensión arterial, las enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (WHO, 2020). Debido a esta relación, el IMC se utiliza ampliamente como un indicador de riesgo para la salud en estudios poblacionales.

Una de las principales ventajas del IMC es su **facilidad de medición**, ya que solo requiere dos variables antropométricas básicas: peso y talla. Estas mediciones pueden obtenerse con instrumentos relativamente simples, como una balanza y un estadiómetro, lo que permite su aplicación en diferentes contextos, incluyendo comunidades rurales y estudios de campo. Además, el IMC permite realizar comparaciones entre diferentes grupos poblacionales y analizar tendencias epidemiológicas a lo largo del tiempo.

Sin embargo, a pesar de su utilidad, el IMC presenta ciertas **limitaciones como indicador del estado nutricional**. Una de las principales limitaciones es que este índice no distingue entre masa grasa y masa magra. Esto significa que individuos con elevada masa muscular, como los atletas, pueden presentar valores altos de IMC sin necesariamente tener exceso de grasa corporal. De manera similar, algunas personas pueden presentar valores normales de IMC pero tener un porcentaje elevado de grasa corporal, especialmente cuando existe acumulación de grasa visceral (Caballero, 2017).

Otra limitación del IMC es que no proporciona información sobre la **distribución de la grasa corporal**, aspecto que tiene gran relevancia para la evaluación del riesgo metabólico. La acumulación de grasa en la región abdominal, conocida como adiposidad central, se asocia con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas en comparación con la grasa distribuida en otras partes del cuerpo. Por esta razón, el IMC suele complementarse con otros indicadores antropométricos, como la circunferencia de cintura o el índice cintura-cadera, para obtener una evaluación más completa del estado nutricional.

A pesar de estas limitaciones, el IMC sigue siendo un indicador ampliamente aceptado debido a su **valor predictivo en relación con diversas enfermedades crónicas**. Estudios epidemiológicos realizados en diferentes regiones del mundo han demostrado que el riesgo de mortalidad y de enfermedades cardiovasculares aumenta progresivamente a medida que se incrementa el IMC (WHO, 2020). Este hallazgo ha consolidado el uso del IMC como una herramienta fundamental para la vigilancia del estado nutricional a nivel poblacional.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el uso del IMC adquiere particular relevancia para evaluar la relación entre el estado nutricional y las condiciones fisiológicas asociadas a la hipoxia ambiental. La exposición a la hipoxia hipobárica puede influir en el metabolismo energético, en la función respiratoria y en los mecanismos de adaptación del organismo al ambiente de altura (Gonzales, 2011). En este escenario, el exceso de peso corporal puede generar efectos adicionales sobre la fisiología respiratoria y cardiovascular.

Por ejemplo, un IMC elevado puede asociarse con una mayor acumulación de tejido adiposo en la región abdominal, lo que puede limitar la expansión del diafragma y afectar la ventilación pulmonar. En poblaciones de altura, donde la disponibilidad de oxígeno ya se encuentra reducida, estas alteraciones pueden intensificar los efectos de la hipoxia ambiental y favorecer estados de hipoxia tisular (Navia et al., 2001). Esta situación puede estimular mecanismos compensatorios como el aumento en la producción de eritrocitos.

Diversas investigaciones realizadas en poblaciones altoandinas han señalado que una proporción importante de individuos con **eritrocitosis excesiva** presenta valores elevados de IMC. Este hallazgo sugiere que el exceso de peso corporal podría estar asociado con la regulación de la eritropoyesis en contextos de hipoxia crónica, aunque los mecanismos fisiológicos exactos que explican esta relación aún continúan siendo objeto de estudio (Gonzales, 2011).

Asimismo, el análisis del IMC en poblaciones de altura permite identificar cambios en los **patrones epidemiológicos de nutrición** asociados con la transición nutricional. En muchas comunidades altoandinas, el incremento en el consumo de alimentos procesados y la disminución de la actividad física han contribuido al aumento del sobrepeso y la obesidad. La medición del IMC permite cuantificar la magnitud de este fenómeno y evaluar su impacto en la salud de las poblaciones.

Desde la perspectiva de la salud pública, el uso del IMC como indicador nutricional facilita el desarrollo de **programas de prevención y control del exceso de peso corporal**.

La identificación temprana de individuos con sobrepeso u obesidad permite implementar intervenciones orientadas a mejorar los hábitos alimentarios, promover la actividad física y reducir el riesgo de enfermedades crónicas.

En conclusión, el índice de masa corporal constituye una herramienta útil y ampliamente utilizada para evaluar el estado nutricional y detectar alteraciones relacionadas con el peso corporal. Aunque presenta ciertas limitaciones en la estimación precisa de la composición corporal, su facilidad de aplicación y su asociación con diversos riesgos para la salud lo convierten en un indicador valioso en estudios epidemiológicos y en programas de salud pública. En el contexto de las poblaciones que viven en regiones de gran altitud, el IMC permite analizar la relación entre el estado nutricional, la adaptación fisiológica a la hipoxia y la aparición de diversas condiciones de salud relacionadas con el metabolismo y la función respiratoria.

1.2.3 Índice cintura–estatura y riesgo cardiometabólico

El **índice cintura–estatura (ICE)** es un indicador antropométrico utilizado para evaluar la distribución de la grasa corporal y estimar el **riesgo cardiometabólico** asociado a la adiposidad central. Este índice se calcula dividiendo la circunferencia de la cintura entre la estatura del individuo, ambas medidas expresadas en las mismas unidades. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Índice cintura–estatura} = \text{circunferencia de cintura} / \text{estatura}$$

Este indicador ha ganado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para reflejar de manera más precisa la acumulación de **grasa abdominal**, la cual se encuentra estrechamente relacionada con el desarrollo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares. A diferencia del índice de masa corporal (IMC), que evalúa el peso corporal total en relación con la talla, el índice cintura–estatura permite identificar específicamente la adiposidad central, considerada uno de los principales factores de riesgo para enfermedades crónicas no transmisibles (Ashwell y Hsieh, 2005).

La acumulación de grasa en la región abdominal, especialmente la **grasa visceral**, tiene importantes implicaciones metabólicas. Este tipo de tejido adiposo se caracteriza por ser metabólicamente activo y por producir diversas sustancias bioquímicas conocidas como **adipocinas**, las cuales participan en procesos inflamatorios, en la regulación del metabolismo energético y en la sensibilidad a la insulina (Trayhurn y Wood, 2004). Un aumento en la cantidad de grasa visceral puede generar alteraciones metabólicas que incrementan el riesgo de desarrollar diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares.

Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que el índice cintura–estatura es un **mejor predictor del riesgo cardiometabólico** que otros indicadores antropométricos tradicionales. Investigaciones realizadas en diferentes poblaciones han evidenciado que valores elevados de este índice se asocian con mayor prevalencia de síndrome metabólico, dislipidemia, resistencia a la insulina y enfermedad cardiovascular (Ashwell y Hsieh, 2005). Debido a esta relación, el índice cintura–estatura ha sido propuesto como una herramienta útil para la evaluación del riesgo metabólico en estudios poblacionales.

Una de las principales ventajas del índice cintura–estatura es su **simplicidad de cálculo e interpretación**. A diferencia de otros indicadores que requieren puntos de corte específicos según el sexo o la edad, el índice cintura–estatura utiliza un punto de referencia general que permite evaluar el riesgo cardiometabólico de manera sencilla. En términos generales, se considera que un valor superior a **0,5** indica un mayor riesgo de desarrollar enfermedades metabólicas y cardiovasculares. Este criterio ha sido propuesto como una referencia práctica para la evaluación del riesgo en diferentes grupos poblacionales.

La medición de la **circunferencia de cintura**, componente fundamental para el cálculo de este índice, se realiza generalmente en el punto medio entre la última costilla y la cresta ilíaca, utilizando una cinta métrica flexible. Esta medición permite estimar la cantidad de grasa abdominal presente en el organismo. Por su parte, la estatura se mide mediante un estadiómetro con el individuo en posición erguida y sin calzado. La relación

entre estas dos variables permite estimar la proporción del abdomen en relación con la estatura corporal.

Desde el punto de vista fisiológico, el aumento del índice cintura–estatura refleja una mayor acumulación de **grasa visceral**, la cual se encuentra asociada con diversas alteraciones metabólicas. Este tipo de grasa se caracteriza por liberar ácidos grasos libres hacia la circulación sanguínea, lo que puede afectar el metabolismo de la glucosa y favorecer el desarrollo de resistencia a la insulina (Caballero, 2017). Además, la grasa visceral produce citocinas proinflamatorias que contribuyen a la aparición de inflamación crónica de bajo grado, condición relacionada con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares.

El índice cintura–estatura también se ha asociado con alteraciones en el **perfil lipídico**, como el aumento de triglicéridos y la disminución del colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL). Estas alteraciones metabólicas constituyen factores importantes en el desarrollo de aterosclerosis, proceso caracterizado por la acumulación de placas lipídicas en las paredes de las arterias, lo que puede reducir el flujo sanguíneo y aumentar el riesgo de eventos cardiovasculares (WHO, 2020).

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el análisis del índice cintura–estatura adquiere una importancia particular debido a la interacción entre la adiposidad central y las condiciones fisiológicas asociadas a la hipoxia ambiental. La vida en altura se caracteriza por una menor disponibilidad de oxígeno, lo que genera adaptaciones fisiológicas destinadas a mejorar el transporte y la utilización del oxígeno en el organismo (Gonzales, 2011). Sin embargo, la presencia de adiposidad abdominal puede afectar estos mecanismos adaptativos.

El aumento de grasa abdominal puede influir en la **función respiratoria**, ya que la acumulación de tejido adiposo en la cavidad abdominal puede limitar la movilidad del diafragma y reducir la capacidad de expansión pulmonar. Esta restricción mecánica puede disminuir la eficiencia del intercambio gaseoso en los pulmones, lo que puede intensificar los efectos de la hipoxia ambiental en poblaciones de altura (Navia et al., 2001). Como

consecuencia, el organismo puede experimentar estados de hipoxia tisular que estimulan mecanismos compensatorios como el aumento de la producción de eritrocitos.

Asimismo, la adiposidad central se ha relacionado con un mayor riesgo de **enfermedades cardiovasculares**, condición que puede agravarse en poblaciones expuestas a condiciones ambientales extremas como la hipoxia de altura. La combinación de factores metabólicos, inflamatorios y hemodinámicos asociados a la obesidad abdominal puede incrementar la carga fisiológica sobre el sistema cardiovascular y favorecer el desarrollo de complicaciones circulatorias.

Desde la perspectiva de la salud pública, el índice cintura–estatura constituye una herramienta útil para la **detección temprana del riesgo cardiometabólico** en poblaciones adultas. Su facilidad de medición y su capacidad para identificar la adiposidad abdominal lo convierten en un indicador valioso en estudios epidemiológicos y en programas de prevención de enfermedades crónicas.

En conclusión, el índice cintura–estatura es un indicador antropométrico que permite evaluar la distribución de la grasa corporal y estimar el riesgo cardiometabólico asociado a la adiposidad central. Su utilidad radica en su capacidad para identificar la acumulación de grasa abdominal, la cual se encuentra estrechamente relacionada con alteraciones metabólicas y cardiovasculares. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, el análisis de este índice permite comprender mejor la interacción entre nutrición, composición corporal y adaptación fisiológica a la hipoxia, contribuyendo al desarrollo de estrategias de prevención y promoción de la salud.

1.2.4 Composición corporal y distribución de grasa

La **composición corporal** se refiere a la proporción relativa de los diferentes componentes que conforman el organismo humano, principalmente **masa grasa, masa magra, masa ósea y agua corporal**. El análisis de la composición corporal constituye un elemento fundamental en la evaluación del estado nutricional, ya que permite comprender cómo se distribuyen los tejidos corporales y cómo estas proporciones pueden influir en la

salud y en el funcionamiento fisiológico del organismo (Heymsfield et al., 2005). A diferencia de indicadores simples como el peso corporal o el índice de masa corporal (IMC), el estudio de la composición corporal proporciona información más detallada sobre la cantidad y distribución de la grasa corporal.

Tradicionalmente, el cuerpo humano se ha descrito mediante el **modelo de dos compartimentos**, que divide al organismo en masa grasa y masa libre de grasa. La masa grasa está compuesta por el tejido adiposo, que funciona principalmente como reserva energética, mientras que la masa libre de grasa incluye músculos, huesos, órganos y líquidos corporales. Este modelo permite evaluar el equilibrio entre los diferentes componentes corporales y analizar cómo su alteración puede influir en el estado nutricional y en el riesgo de enfermedades (Gibson, 2005).

El **tejido adiposo**, principal componente de la masa grasa, desempeña diversas funciones fisiológicas. Además de actuar como reserva energética, el tejido adiposo participa en la regulación del metabolismo energético, en la producción de hormonas y en la protección mecánica de órganos internos. En las últimas décadas se ha reconocido que el tejido adiposo funciona como un **órgano endocrino**, capaz de secretar diversas moléculas bioactivas, conocidas como adipocinas, que intervienen en procesos metabólicos, inflamatorios y hormonales (Trayhurn y Wood, 2004).

La distribución de la grasa corporal constituye un aspecto clave en la evaluación del estado nutricional, ya que diferentes patrones de acumulación de grasa pueden tener implicancias distintas para la salud. Existen dos patrones principales de distribución de grasa corporal: la **distribución periférica o ginoide** y la **distribución central o androide**. La distribución periférica se caracteriza por la acumulación de grasa en regiones como las caderas, los glúteos y los muslos, mientras que la distribución central se asocia con la acumulación de grasa en la región abdominal (Caballero, 2017).

La **adiposidad central**, caracterizada por el aumento de grasa abdominal, se ha relacionado con un mayor riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares. Este tipo

de grasa incluye principalmente la **grasa visceral**, que se localiza alrededor de los órganos internos del abdomen. La grasa visceral es metabólicamente activa y se asocia con la liberación de ácidos grasos libres y citocinas inflamatorias que pueden alterar el metabolismo de la glucosa y de los lípidos, favoreciendo el desarrollo de resistencia a la insulina y síndrome metabólico (Després, 2012).

En contraste, la grasa subcutánea, localizada debajo de la piel, suele tener un menor impacto negativo sobre el metabolismo en comparación con la grasa visceral. Sin embargo, el exceso de grasa corporal en general puede generar alteraciones metabólicas que afectan la salud cardiovascular y el equilibrio energético del organismo. Por esta razón, el análisis de la distribución de la grasa corporal resulta fundamental para evaluar el riesgo de enfermedades relacionadas con la obesidad.

La evaluación de la composición corporal puede realizarse mediante diversos métodos, que varían en su nivel de precisión y complejidad. Entre los métodos más utilizados se encuentran las **mediciones antropométricas**, como los pliegues cutáneos, que permiten estimar la cantidad de grasa subcutánea. También existen métodos más avanzados, como la **bioimpedancia eléctrica**, la absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA) y la tomografía computarizada, que permiten obtener estimaciones más precisas de la distribución de los tejidos corporales (Heymsfield et al., 2005).

La bioimpedancia eléctrica, por ejemplo, se basa en la medición de la resistencia del cuerpo al paso de una corriente eléctrica de baja intensidad. Debido a que los tejidos con mayor contenido de agua, como los músculos, conducen la electricidad con mayor facilidad que el tejido adiposo, este método permite estimar la proporción de masa grasa y masa magra en el organismo. Este tipo de técnicas ha sido ampliamente utilizado en estudios clínicos y epidemiológicos para evaluar la composición corporal.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el análisis de la composición corporal y de la distribución de grasa adquiere una importancia particular debido a la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia

ambiental. La hipoxia hipobárica presente en estas regiones puede influir en el metabolismo energético y en la forma en que el organismo utiliza los nutrientes (Gonzales, 2011). Estas condiciones pueden modificar la composición corporal y afectar el equilibrio entre masa grasa y masa magra.

El exceso de grasa corporal, especialmente cuando se concentra en la región abdominal, puede afectar la **función respiratoria** al limitar la expansión del diafragma y reducir los volúmenes pulmonares. Esta situación puede disminuir la eficiencia del intercambio gaseoso en los pulmones y favorecer estados de hipoxia tisular, particularmente en contextos donde la disponibilidad de oxígeno ya se encuentra reducida, como ocurre en las zonas de gran altitud (Navia et al., 2001).

Además, el aumento de la masa grasa puede incrementar la **demanda metabólica de oxígeno**, ya que el tejido adiposo requiere oxígeno para mantener sus funciones metabólicas. Este incremento en la demanda de oxígeno puede generar un desequilibrio entre la oferta y la demanda de oxígeno en el organismo, lo que puede activar mecanismos compensatorios como el aumento de la producción de eritrocitos.

Diversos estudios han sugerido que la distribución de la grasa corporal puede influir en la **respuesta fisiológica a la hipoxia**. La acumulación de grasa visceral se ha asociado con una mayor prevalencia de trastornos metabólicos y con alteraciones en la regulación de la eritropoyesis en poblaciones de altura. Estas observaciones sugieren que la composición corporal puede desempeñar un papel importante en la adaptación del organismo a las condiciones ambientales de la altura.

Desde la perspectiva de la salud pública, el análisis de la composición corporal permite identificar factores de riesgo asociados con la obesidad y con otras alteraciones nutricionales. La evaluación de la distribución de la grasa corporal proporciona información valiosa para la prevención de enfermedades metabólicas y cardiovasculares, así como para el diseño de intervenciones orientadas a mejorar la salud nutricional de las poblaciones.

En conclusión, la composición corporal y la distribución de grasa representan aspectos fundamentales en la evaluación del estado nutricional. El análisis de estos componentes permite comprender cómo la acumulación y la distribución del tejido adiposo pueden influir en el metabolismo energético, en la función respiratoria y en el riesgo de enfermedades crónicas. En poblaciones que viven en regiones de gran altitud, estas variables adquieren una relevancia especial debido a su interacción con los mecanismos fisiológicos de adaptación a la hipoxia ambiental.

1.2.5 Bioimpedancia eléctrica en la evaluación nutricional

La **bioimpedancia eléctrica (BIA, por sus siglas en inglés: Bioelectrical Impedance Analysis)** es una técnica ampliamente utilizada para evaluar la **composición corporal** y estimar el estado nutricional de los individuos. Este método permite determinar la proporción de masa grasa, masa libre de grasa, agua corporal total y otros compartimentos corporales mediante la medición de la resistencia del cuerpo al paso de una corriente eléctrica de baja intensidad (Kyle et al., 2004). Debido a su carácter no invasivo, rapidez de aplicación y relativa facilidad de uso, la bioimpedancia eléctrica se ha convertido en una herramienta útil tanto en el ámbito clínico como en la investigación nutricional.

El principio fisiológico de la bioimpedancia eléctrica se basa en las propiedades eléctricas de los tejidos corporales. Los tejidos que contienen mayor cantidad de agua y electrolitos, como los músculos, presentan una **menor resistencia al paso de la corriente eléctrica**, mientras que el tejido adiposo, que contiene menor cantidad de agua, ofrece una mayor resistencia al flujo eléctrico (Lukaski, 1987). Al aplicar una corriente eléctrica de baja intensidad a través del cuerpo, el equipo de bioimpedancia mide dos parámetros principales: la **resistencia (R)** y la **reactancia (Xc)**. Estos valores permiten estimar el volumen de agua corporal y, a partir de ello, calcular la masa libre de grasa y la masa grasa.

La bioimpedancia eléctrica se basa en el modelo de **dos compartimentos corporales**, que divide el cuerpo en masa grasa y masa libre de grasa. La masa libre de grasa incluye músculos, huesos, órganos y líquidos corporales, mientras que la masa grasa está constituida por el tejido adiposo. Dado que la masa libre de grasa contiene una mayor

proporción de agua, conduce la electricidad con mayor facilidad que la masa grasa. A partir de esta diferencia en la conductividad eléctrica, los dispositivos de bioimpedancia utilizan ecuaciones predictivas para estimar la composición corporal (Kyle et al., 2004).

Uno de los principales beneficios de la bioimpedancia eléctrica es que permite obtener información más detallada sobre la **composición corporal** en comparación con indicadores antropométricos simples como el índice de masa corporal (IMC). Mientras que el IMC solo proporciona una estimación general del estado nutricional basada en el peso y la talla, la bioimpedancia permite diferenciar entre masa grasa y masa magra, lo que facilita una evaluación más precisa del estado nutricional y del riesgo metabólico.

La bioimpedancia eléctrica también permite estimar la **distribución del agua corporal**, incluyendo el agua intracelular y extracelular. Este aspecto es particularmente importante en la evaluación clínica, ya que alteraciones en el equilibrio hídrico pueden reflejar cambios en el estado de hidratación o en la función de determinados órganos. La evaluación del agua corporal total es útil en el seguimiento de pacientes con enfermedades renales, cardíacas o metabólicas.

Existen diferentes tipos de dispositivos de bioimpedancia eléctrica, que varían en complejidad y precisión. Algunos equipos utilizan un sistema **tetrapolar**, en el cual se colocan electrodos en las manos y los pies del individuo para medir la impedancia corporal total. Otros dispositivos, como las básculas de bioimpedancia domésticas, utilizan sensores integrados en la superficie de la balanza que permiten estimar la composición corporal mediante el contacto con los pies. También existen sistemas segmentarios que permiten analizar la composición corporal de diferentes partes del cuerpo, como brazos, piernas y tronco (Kyle et al., 2004).

A pesar de sus ventajas, la bioimpedancia eléctrica presenta ciertas **limitaciones** que deben considerarse durante su interpretación. La precisión de las estimaciones puede verse afectada por factores como el estado de hidratación, la ingesta reciente de alimentos o líquidos, la actividad física previa y la temperatura corporal. Por esta razón, se recomienda

realizar las mediciones bajo condiciones estandarizadas, preferiblemente en ayunas y después de un periodo de reposo (Lukaski, 1987).

Asimismo, las ecuaciones utilizadas para estimar la composición corporal mediante bioimpedancia suelen desarrollarse a partir de poblaciones específicas. Esto significa que la precisión de las estimaciones puede variar dependiendo de factores como la edad, el sexo, el nivel de actividad física y las características étnicas de la población evaluada. Por esta razón, es importante utilizar ecuaciones validadas para la población específica que se está estudiando.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la bioimpedancia eléctrica puede proporcionar información valiosa sobre la relación entre la composición corporal y los procesos fisiológicos asociados a la adaptación a la hipoxia ambiental. La exposición prolongada a la hipoxia puede influir en el metabolismo energético, en la distribución de los tejidos corporales y en la regulación del balance hídrico del organismo (Gonzales, 2011). El análisis de la composición corporal mediante bioimpedancia permite evaluar cómo estas condiciones afectan el equilibrio entre masa grasa y masa magra.

Por ejemplo, la acumulación excesiva de masa grasa puede afectar la **función respiratoria y el metabolismo del oxígeno**, aspectos particularmente relevantes en poblaciones que viven en altitudes elevadas. El exceso de tejido adiposo puede limitar la expansión pulmonar y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede intensificar los efectos de la hipoxia ambiental. La bioimpedancia eléctrica permite cuantificar la masa grasa y evaluar su posible relación con alteraciones fisiológicas asociadas a la vida en altura.

Asimismo, la evaluación de la masa muscular mediante bioimpedancia puede proporcionar información sobre la **capacidad funcional y metabólica del organismo**. La masa muscular desempeña un papel importante en el metabolismo energético y en el consumo de oxígeno durante la actividad física. En poblaciones que viven en regiones de

altura, donde el organismo debe adaptarse a condiciones de menor disponibilidad de oxígeno, la masa muscular puede influir en la eficiencia metabólica y en la tolerancia al esfuerzo físico.

Desde la perspectiva de la investigación nutricional, la bioimpedancia eléctrica constituye una herramienta útil para analizar la relación entre **composición corporal, estado nutricional y riesgo de enfermedades metabólicas**. La medición de la masa grasa y de la masa magra permite identificar patrones de adiposidad y evaluar su relación con indicadores clínicos y metabólicos, como la glucosa sanguínea, el perfil lipídico y la presión arterial.

En síntesis, la bioimpedancia eléctrica es un método práctico y relativamente preciso para la evaluación de la composición corporal y del estado nutricional. Su capacidad para estimar la masa grasa, la masa libre de grasa y el agua corporal la convierte en una herramienta valiosa tanto en el ámbito clínico como en la investigación científica. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, el uso de esta técnica permite comprender mejor la relación entre nutrición, composición corporal y adaptación fisiológica a la hipoxia ambiental, contribuyendo al desarrollo de estrategias orientadas a mejorar la salud y la calidad de vida de estas poblaciones.

1.2.6 Evaluación clínica del estado nutricional

La **evaluación clínica del estado nutricional** constituye un componente esencial dentro del proceso de valoración nutricional integral. Este tipo de evaluación se basa en la observación sistemática de **signos y síntomas físicos** que pueden indicar deficiencias o excesos de nutrientes en el organismo. A diferencia de las mediciones antropométricas o bioquímicas, la evaluación clínica se centra en la identificación de manifestaciones visibles o detectables durante el examen físico del paciente, las cuales reflejan alteraciones en el equilibrio nutricional (Gibson, 2005).

La valoración clínica forma parte del enfoque conocido como **evaluación nutricional ABCD**, que integra cuatro componentes principales: evaluación

antropométrica, bioquímica, clínica y dietética. En este contexto, el componente clínico permite identificar cambios físicos asociados a problemas nutricionales que pueden no ser evidentes únicamente mediante mediciones antropométricas. Por ello, la evaluación clínica constituye una herramienta complementaria que contribuye a obtener una visión más completa del estado nutricional de los individuos (Lee y Nieman, 2013).

Durante la evaluación clínica, el profesional de salud realiza un **examen físico detallado** que incluye la observación del aspecto general del individuo y de diferentes regiones del cuerpo, como la piel, el cabello, las uñas, los ojos, la cavidad oral, los músculos y el tejido subcutáneo. Estas estructuras corporales pueden presentar alteraciones características cuando existe deficiencia o exceso de determinados nutrientes. Por ejemplo, la palidez cutánea puede indicar anemia asociada a deficiencia de hierro, mientras que la presencia de piel seca o descamativa puede estar relacionada con deficiencias de vitaminas o ácidos grasos esenciales (Gibson, 2005).

El examen clínico también permite identificar cambios en la **masa muscular y en el tejido adiposo**, los cuales pueden reflejar alteraciones en el balance energético del organismo. La pérdida de masa muscular, conocida como **atrofia muscular**, puede observarse en estados de desnutrición prolongada o en enfermedades crónicas que afectan el metabolismo energético. Por otro lado, el exceso de tejido adiposo puede evidenciarse mediante la observación de depósitos de grasa en regiones corporales específicas, como el abdomen o la región cervical posterior.

Asimismo, la evaluación clínica incluye la observación de **signos específicos de deficiencias nutricionales**. Por ejemplo, la presencia de queilosis o grietas en las comisuras de los labios puede estar asociada con deficiencia de riboflavina (vitamina B2), mientras que la inflamación de las encías puede indicar deficiencia de vitamina C. Del mismo modo, cambios en el cabello, como fragilidad o pérdida excesiva, pueden relacionarse con deficiencias proteicas o de ciertos micronutrientes (Lee y Nieman, 2013).

Otro aspecto importante de la evaluación clínica es la valoración de la **historia médica y los antecedentes del individuo**, incluyendo la presencia de enfermedades, medicamentos utilizados y hábitos de vida que puedan influir en el estado nutricional. Algunas enfermedades crónicas, como diabetes, enfermedades gastrointestinales o trastornos endocrinos, pueden afectar la absorción o el metabolismo de los nutrientes, generando alteraciones en el estado nutricional. La identificación de estos factores permite comprender mejor las posibles causas de los cambios observados durante el examen físico.

En el contexto de la evaluación clínica también se consideran aspectos relacionados con la **función gastrointestinal**, ya que el sistema digestivo desempeña un papel fundamental en la absorción y utilización de los nutrientes. Síntomas como náuseas, vómitos, diarrea o estreñimiento pueden indicar alteraciones en el proceso digestivo que afectan el estado nutricional del individuo. La presencia de estos síntomas puede sugerir problemas en la absorción de nutrientes o en el metabolismo de determinados compuestos esenciales.

La evaluación clínica del estado nutricional también permite identificar signos relacionados con el **exceso de nutrientes**, especialmente en casos de sobrepeso u obesidad. La acumulación de tejido adiposo en determinadas regiones corporales puede observarse durante el examen físico y puede estar asociada con alteraciones metabólicas. Además, el exceso de peso corporal puede generar manifestaciones clínicas como fatiga, dificultad respiratoria o limitaciones en la movilidad, las cuales pueden afectar la calidad de vida del individuo.

En poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la evaluación clínica del estado nutricional adquiere una importancia particular debido a la interacción entre la nutrición y las condiciones fisiológicas asociadas a la hipoxia ambiental. La exposición a niveles reducidos de oxígeno puede influir en diversos procesos metabólicos y hematológicos del organismo (Gonzales, 2011). Por ejemplo, en individuos con eritrocitosis excesiva, pueden observarse signos clínicos relacionados con el aumento de la viscosidad sanguínea, como cefaleas, mareos o alteraciones en la coloración de la piel.

Asimismo, el estado nutricional puede influir en la **capacidad del organismo para adaptarse a las condiciones de altura**. La presencia de deficiencias nutricionales puede afectar el metabolismo energético y la producción de hemoglobina, lo que puede comprometer la capacidad del organismo para transportar oxígeno hacia los tejidos. Por otro lado, el exceso de peso corporal puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede intensificar los efectos de la hipoxia ambiental.

Desde la perspectiva de la salud pública, la evaluación clínica del estado nutricional constituye una herramienta importante para la **detección temprana de problemas nutricionales** en la población. La identificación de signos clínicos asociados a deficiencias o excesos nutricionales permite implementar intervenciones oportunas destinadas a mejorar la alimentación y prevenir complicaciones relacionadas con la malnutrición.

Sin embargo, es importante señalar que la evaluación clínica por sí sola no permite establecer un diagnóstico definitivo del estado nutricional. Debido a que muchos signos clínicos pueden ser inespecíficos o aparecer en etapas avanzadas de las deficiencias nutricionales, es necesario complementar esta evaluación con otros métodos, como la evaluación antropométrica, los análisis bioquímicos y la evaluación dietética. La integración de estos métodos permite obtener una valoración más completa y precisa del estado nutricional del individuo.

En conclusión, la evaluación clínica del estado nutricional constituye un componente fundamental dentro del proceso de valoración nutricional integral. A través de la observación de signos físicos, el examen médico y la revisión de antecedentes clínicos, es posible identificar manifestaciones asociadas a deficiencias o excesos nutricionales. En el contexto de las poblaciones que viven en regiones de gran altitud, esta evaluación permite analizar la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia, contribuyendo al desarrollo de estrategias orientadas a mejorar la salud y el bienestar de estas comunidades.

1.2.7 Indicadores bioquímicos del estado nutricional

Los **indicadores bioquímicos del estado nutricional** constituyen herramientas fundamentales para evaluar la disponibilidad, el metabolismo y la utilización de nutrientes en el organismo. Estos indicadores se basan en el análisis de sustancias presentes en fluidos biológicos, principalmente sangre, orina o tejidos, con el objetivo de identificar alteraciones metabólicas relacionadas con deficiencias o excesos de nutrientes (Gibson, 2005). La evaluación bioquímica permite detectar cambios nutricionales incluso antes de que aparezcan manifestaciones clínicas evidentes, lo que la convierte en una herramienta valiosa para la prevención y el diagnóstico temprano de problemas nutricionales.

Desde una perspectiva fisiológica, los indicadores bioquímicos reflejan el **estado funcional del metabolismo** y proporcionan información sobre la disponibilidad de nutrientes en el organismo. A través de pruebas de laboratorio es posible medir concentraciones de vitaminas, minerales, proteínas, lípidos y otros compuestos que participan en procesos metabólicos esenciales. Estas mediciones permiten evaluar si el organismo dispone de los nutrientes necesarios para mantener el equilibrio fisiológico y el funcionamiento adecuado de los sistemas corporales.

Entre los indicadores bioquímicos más utilizados en la evaluación nutricional se encuentran los relacionados con el **metabolismo de las proteínas**, como la concentración de albúmina, prealbúmina y transferrina en sangre. La albúmina sérica es una proteína producida en el hígado que participa en el transporte de diversas sustancias en la sangre. Niveles bajos de albúmina pueden indicar estados de desnutrición proteica o la presencia de enfermedades que afectan la síntesis proteica (Lee y Nieman, 2013). Sin embargo, este indicador también puede verse influenciado por factores como infecciones, inflamación o enfermedades hepáticas.

Otro grupo importante de indicadores bioquímicos corresponde a los relacionados con el **metabolismo del hierro**, nutriente esencial para la producción de hemoglobina y el transporte de oxígeno en la sangre. Entre los principales marcadores utilizados para evaluar el estado del hierro se encuentran la concentración de hemoglobina, el hematocrito, la

ferritina sérica y la transferrina. La ferritina refleja las reservas de hierro del organismo, mientras que la transferrina participa en el transporte de hierro en el plasma. Alteraciones en estos indicadores pueden sugerir la presencia de anemia por deficiencia de hierro u otras alteraciones hematológicas (WHO, 2011).

La evaluación bioquímica también incluye indicadores relacionados con el **metabolismo de los lípidos**, los cuales permiten evaluar el riesgo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas. Entre estos indicadores se encuentran el colesterol total, el colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL), el colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y los triglicéridos. Un perfil lipídico alterado puede indicar la presencia de dislipidemia, condición asociada con el desarrollo de aterosclerosis y enfermedades cardiovasculares (Caballero, 2017).

Asimismo, los **indicadores relacionados con el metabolismo de la glucosa** son ampliamente utilizados para evaluar el riesgo de trastornos metabólicos como la diabetes mellitus. Entre los principales marcadores se encuentran la glucosa plasmática en ayunas, la hemoglobina glicosilada (HbA1c) y la prueba de tolerancia a la glucosa. Estos indicadores permiten analizar cómo el organismo regula los niveles de glucosa en sangre y detectar alteraciones en el metabolismo de los carbohidratos.

Los indicadores bioquímicos también permiten evaluar el estado de **vitaminas y minerales esenciales**, como la vitamina D, la vitamina B12, el ácido fólico, el zinc y el calcio. La deficiencia de estos micronutrientes puede generar diversas alteraciones fisiológicas, incluyendo problemas óseos, trastornos neurológicos y alteraciones inmunológicas. La medición de estos nutrientes en sangre o en otros tejidos permite identificar deficiencias nutricionales y orientar intervenciones dietéticas adecuadas.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, los indicadores bioquímicos adquieren una relevancia particular debido a la interacción entre el estado nutricional y los procesos fisiológicos asociados a la hipoxia ambiental. La exposición a la hipoxia hipobárica puede influir en el metabolismo del hierro, en la

producción de hemoglobina y en la regulación de la eritropoyesis (Gonzales, 2011). Por esta razón, la evaluación de indicadores hematológicos es especialmente importante en estudios realizados en poblaciones de altura.

Uno de los indicadores más relevantes en este contexto es la **concentración de hemoglobina**, ya que refleja la capacidad de la sangre para transportar oxígeno hacia los tejidos. En poblaciones que viven en altitudes elevadas, es común observar niveles de hemoglobina más altos como parte de los mecanismos de adaptación fisiológica a la hipoxia. Sin embargo, cuando estos niveles se incrementan de manera excesiva, pueden indicar la presencia de **eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico**, condición que se caracteriza por un aumento anormal de la masa eritrocitaria (Gonzales, 2011).

Además de los indicadores hematológicos, el análisis bioquímico también puede incluir marcadores relacionados con la **inflamación y el metabolismo energético**, como la proteína C reactiva (PCR) y otros mediadores inflamatorios. Estos indicadores permiten evaluar la presencia de inflamación crónica de bajo grado, condición que se ha asociado con la obesidad y con diversas enfermedades metabólicas.

Desde la perspectiva de la investigación nutricional, los indicadores bioquímicos permiten analizar la relación entre **nutrición, metabolismo y riesgo de enfermedades crónicas**. La medición de estos marcadores proporciona información objetiva sobre el estado metabólico del organismo y permite identificar alteraciones que pueden no ser detectadas mediante métodos antropométricos o clínicos.

No obstante, es importante considerar que la interpretación de los indicadores bioquímicos debe realizarse en conjunto con otros métodos de evaluación nutricional. Factores como infecciones, enfermedades crónicas, medicamentos o cambios fisiológicos pueden influir en los resultados de las pruebas bioquímicas. Por esta razón, los análisis de laboratorio deben interpretarse dentro del contexto clínico y nutricional del individuo.

En conclusión, los indicadores bioquímicos del estado nutricional constituyen herramientas fundamentales para evaluar la disponibilidad y el metabolismo de los

nutrientes en el organismo. A través del análisis de muestras biológicas es posible identificar deficiencias nutricionales, alteraciones metabólicas y factores de riesgo asociados con diversas enfermedades. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estos indicadores permiten analizar la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia, contribuyendo al desarrollo de estrategias orientadas a mejorar la salud y la calidad de vida de estas comunidades.

1.2.8 Relación entre estado nutricional y eritropoyesis

La **eritropoyesis** es el proceso fisiológico mediante el cual se producen los eritrocitos o glóbulos rojos en la médula ósea. Estas células sanguíneas cumplen una función esencial en el organismo, ya que contienen **hemoglobina**, proteína responsable del transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos y de la eliminación del dióxido de carbono producido durante el metabolismo celular. La producción de eritrocitos es un proceso complejo que depende de múltiples factores fisiológicos, entre los cuales destacan la disponibilidad de oxígeno, la acción de hormonas reguladoras y el adecuado **estado nutricional del organismo** (Guyton y Hall, 2016).

El principal regulador de la eritropoyesis es la **eritropoyetina**, una hormona producida principalmente en los riñones en respuesta a la disminución de la presión parcial de oxígeno en la sangre. Cuando los tejidos experimentan hipoxia, se incrementa la producción de eritropoyetina, lo que estimula la médula ósea para aumentar la producción de eritrocitos. Este mecanismo constituye una respuesta adaptativa que permite mejorar la capacidad de transporte de oxígeno del organismo (Gonzales, 2011).

El estado nutricional desempeña un papel fundamental en este proceso, ya que la formación de eritrocitos requiere la disponibilidad de diversos **nutrientes esenciales** que participan en la síntesis de hemoglobina y en la proliferación celular de los precursores eritroides. Entre los nutrientes más importantes involucrados en la eritropoyesis se encuentran el hierro, las proteínas, la vitamina B12, el ácido fólico y ciertos minerales como el cobre y el zinc (WHO, 2011). La deficiencia de cualquiera de estos nutrientes puede afectar la producción de glóbulos rojos y conducir al desarrollo de anemia.

El **hierro** es uno de los nutrientes más importantes en la eritropoyesis, ya que constituye el componente central de la hemoglobina. Este mineral permite que la hemoglobina se una al oxígeno y facilite su transporte en la sangre. Cuando las reservas de hierro del organismo son insuficientes, se produce una disminución en la síntesis de hemoglobina, lo que da lugar a la **anemia por deficiencia de hierro**, una de las alteraciones nutricionales más frecuentes a nivel mundial (WHO, 2011). Esta condición se caracteriza por la reducción del número de eritrocitos y por la disminución de la capacidad de transporte de oxígeno.

Las **proteínas** también desempeñan un papel fundamental en la eritropoyesis, ya que participan en la formación de la estructura celular de los eritrocitos y en la síntesis de diversas enzimas necesarias para el metabolismo celular. Una ingesta insuficiente de proteínas puede afectar la producción de células sanguíneas y contribuir al desarrollo de anemia asociada a desnutrición proteico-energética (Lee y Nieman, 2013).

Las **vitaminas del complejo B**, particularmente la vitamina B12 y el ácido fólico, son esenciales para la síntesis de ADN durante la formación de los eritrocitos en la médula ósea. La deficiencia de estas vitaminas puede interferir con la división celular de los precursores eritroides, dando lugar a un tipo de anemia conocida como **anemia megaloblástica**, caracterizada por la presencia de eritrocitos de mayor tamaño y menor funcionalidad (Gibson, 2005).

Además de estos nutrientes, otros micronutrientes como el **cobre y el zinc** participan en diferentes etapas del metabolismo del hierro y en la regulación de procesos enzimáticos involucrados en la formación de eritrocitos. La deficiencia de estos minerales puede afectar la absorción y el transporte del hierro, lo que puede alterar indirectamente la eritropoyesis.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la relación entre estado nutricional y eritropoyesis adquiere una relevancia particular debido a la exposición crónica a la **hipoxia hipobárica**. La disminución de la presión parcial de oxígeno en estas regiones estimula la producción de eritropoyetina, lo que conduce a un

aumento en la producción de eritrocitos como mecanismo de adaptación fisiológica para mejorar el transporte de oxígeno (Gonzales, 2011).

Este incremento en la producción de glóbulos rojos implica una mayor demanda de nutrientes involucrados en la eritropoyesis. Por esta razón, un adecuado estado nutricional resulta esencial para mantener un equilibrio entre la producción de eritrocitos y la disponibilidad de los nutrientes necesarios para su formación. Cuando el organismo no dispone de suficientes nutrientes, la respuesta eritropoyética puede verse comprometida, lo que puede afectar la capacidad de adaptación a la hipoxia.

Por otro lado, algunos estudios han sugerido que el **exceso de peso corporal** también puede influir en la regulación de la eritropoyesis. La obesidad puede generar estados de hipoxia tisular debido a la reducción de la eficiencia respiratoria y al aumento de la demanda metabólica de oxígeno. Como respuesta a esta situación, el organismo puede aumentar la producción de eritropoyetina y estimular la formación de eritrocitos (Navia et al., 2001). Este fenómeno puede contribuir al desarrollo de alteraciones hematológicas en individuos con sobrepeso u obesidad que viven en altitudes elevadas.

En algunos casos, la respuesta eritropoyética frente a la hipoxia puede volverse excesiva y conducir al desarrollo de **eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico**, condición caracterizada por niveles anormalmente elevados de hemoglobina y hematocrito. Este aumento excesivo de la masa eritrocitaria puede incrementar la viscosidad sanguínea y generar alteraciones circulatorias que afectan la salud cardiovascular (Gonzales, 2011).

Asimismo, el estado nutricional puede influir en la regulación del **metabolismo del hierro**, aspecto fundamental para el equilibrio de la eritropoyesis. En condiciones de inflamación crónica, como las que pueden presentarse en individuos con obesidad, se incrementa la producción de hepcidina, una hormona que regula la absorción y distribución del hierro en el organismo. Niveles elevados de hepcidina pueden reducir la disponibilidad de hierro para la síntesis de hemoglobina, lo que puede afectar la producción de eritrocitos.

Desde la perspectiva de la salud pública, comprender la relación entre estado nutricional y eritropoyesis es fundamental para el diseño de **estrategias de intervención nutricional** orientadas a prevenir trastornos hematológicos y mejorar la capacidad de adaptación fisiológica en poblaciones que viven en condiciones de hipoxia. La promoción de dietas equilibradas que aseguren un adecuado aporte de hierro, proteínas y vitaminas esenciales puede contribuir a mantener una producción adecuada de eritrocitos y a prevenir alteraciones relacionadas con la eritropoyesis.

En conclusión, el estado nutricional desempeña un papel determinante en la regulación de la eritropoyesis, ya que la producción de eritrocitos depende de la disponibilidad de diversos nutrientes esenciales y del adecuado funcionamiento del metabolismo celular. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, donde la hipoxia ambiental estimula la producción de glóbulos rojos, el estado nutricional adquiere una importancia aún mayor. Comprender esta relación permite analizar cómo la nutrición puede influir en los procesos hematológicos y en la adaptación fisiológica a la vida en altura, contribuyendo al desarrollo de estrategias destinadas a mejorar la salud de estas poblaciones.

1.2.9 Implicancias nutricionales en la salud cardiovascular

La **salud cardiovascular** está estrechamente relacionada con el estado nutricional y con los hábitos alimentarios de las personas. El sistema cardiovascular, compuesto principalmente por el corazón y los vasos sanguíneos, cumple la función de transportar oxígeno, nutrientes y sustancias metabólicas a través del organismo. Cuando existen alteraciones en el equilibrio nutricional, pueden generarse cambios metabólicos que afectan el funcionamiento del sistema circulatorio y aumentan el riesgo de desarrollar **enfermedades cardiovasculares** (ECV), tales como hipertensión arterial, cardiopatía coronaria y accidente cerebrovascular (Organización Mundial de la Salud, 2020).

La nutrición influye en la salud cardiovascular a través de diversos mecanismos fisiológicos que incluyen la regulación del **metabolismo de los lípidos, la presión arterial, la inflamación sistémica y el equilibrio energético**. Una alimentación inadecuada puede favorecer la acumulación de tejido adiposo, el aumento de colesterol en sangre y la

alteración del metabolismo de la glucosa, factores que contribuyen al desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Caballero, 2017). Por esta razón, la nutrición se considera uno de los determinantes más importantes en la prevención y el control de las enfermedades cardiovasculares.

Uno de los factores nutricionales más relevantes en la salud cardiovascular es el **consumo de grasas dietéticas**. Las grasas saturadas y las grasas trans, presentes principalmente en alimentos ultraprocesados y en ciertos productos de origen animal, pueden elevar los niveles de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL), conocido como “colesterol malo”. El aumento del colesterol LDL favorece la formación de placas de grasa en las paredes de las arterias, proceso denominado **aterosclerosis**, que puede reducir el flujo sanguíneo y aumentar el riesgo de eventos cardiovasculares (WHO, 2020).

En contraste, el consumo de **grasas insaturadas**, presentes en alimentos como el aceite de oliva, los frutos secos y el pescado, se ha asociado con efectos beneficiosos para la salud cardiovascular. Estas grasas pueden contribuir a reducir los niveles de colesterol LDL y aumentar el colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL), conocido como “colesterol bueno”. El colesterol HDL participa en el transporte de colesterol desde los tejidos hacia el hígado para su eliminación, lo que ayuda a proteger el sistema cardiovascular.

El **exceso de sodio en la dieta** también constituye un factor de riesgo importante para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, especialmente la hipertensión arterial. El consumo elevado de sodio puede favorecer la retención de líquidos y aumentar la presión arterial, lo que incrementa la carga de trabajo del corazón y de los vasos sanguíneos. Diversas investigaciones han demostrado que la reducción del consumo de sal puede contribuir significativamente a la prevención de la hipertensión y de otras enfermedades cardiovasculares (WHO, 2020).

Otro aspecto relevante es el papel de los **carbohidratos y azúcares simples** en la salud cardiovascular. Las dietas con alto contenido de azúcares refinados pueden contribuir

al desarrollo de sobrepeso, obesidad y resistencia a la insulina, condiciones que se asocian con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. El consumo excesivo de bebidas azucaradas y alimentos ultraprocesados ha sido identificado como uno de los factores que contribuyen al aumento de enfermedades metabólicas en diversas poblaciones.

El **estado nutricional**, particularmente la presencia de sobrepeso u obesidad, constituye un factor importante en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. El exceso de tejido adiposo, especialmente cuando se acumula en la región abdominal, se asocia con alteraciones metabólicas como dislipidemia, resistencia a la insulina e inflamación crónica de bajo grado. Estas condiciones contribuyen al desarrollo del **síndrome metabólico**, un conjunto de factores de riesgo que incrementan significativamente la probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares (Després, 2012).

Además de los macronutrientes, diversos **micronutrientes** desempeñan un papel importante en la salud cardiovascular. Nutrientes como el potasio, el magnesio y el calcio participan en la regulación de la presión arterial y en el funcionamiento adecuado del músculo cardíaco. Asimismo, los antioxidantes presentes en frutas y verduras, como la vitamina C, la vitamina E y diversos compuestos fenólicos, pueden contribuir a reducir el estrés oxidativo y la inflamación, factores asociados con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Gibson, 2005).

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, las implicancias nutricionales en la salud cardiovascular adquieren una importancia particular debido a la interacción entre la nutrición y las adaptaciones fisiológicas a la hipoxia ambiental. La exposición a la **hipoxia hipobárica** puede generar cambios en el sistema cardiovascular, como el aumento de la presión arterial pulmonar y modificaciones en la circulación sanguínea (Gonzales, 2011). Estas adaptaciones permiten mejorar el transporte de oxígeno hacia los tejidos, pero también pueden incrementar la carga fisiológica sobre el sistema cardiovascular.

Cuando estas condiciones se combinan con alteraciones en el estado nutricional, como la obesidad o el consumo excesivo de grasas saturadas, el riesgo de enfermedades cardiovasculares puede incrementarse. El exceso de peso corporal puede afectar la función cardíaca y aumentar la presión arterial, mientras que una dieta inadecuada puede favorecer la acumulación de lípidos en las arterias. En poblaciones de altura, estos factores pueden interactuar con las condiciones fisiológicas propias del ambiente, generando un mayor riesgo de complicaciones cardiovasculares.

Asimismo, en individuos que presentan **eritrocitosis excesiva**, condición que puede desarrollarse en poblaciones que viven en altitudes elevadas, el aumento de la masa eritrocitaria puede incrementar la viscosidad sanguínea. Este incremento en la viscosidad puede dificultar la circulación sanguínea y aumentar el riesgo de trombosis o eventos cardiovasculares (Gonzales, 2011). En este contexto, el estado nutricional y los hábitos alimentarios pueden desempeñar un papel importante en la prevención de complicaciones cardiovasculares.

Desde la perspectiva de la salud pública, la promoción de **hábitos alimentarios saludables** constituye una estrategia fundamental para reducir la carga de enfermedades cardiovasculares en la población. La adopción de dietas equilibradas, ricas en frutas, verduras, cereales integrales y grasas saludables, junto con la reducción del consumo de sal, azúcares y grasas saturadas, puede contribuir significativamente a mejorar la salud cardiovascular.

En conclusión, la nutrición desempeña un papel determinante en la salud cardiovascular a través de su influencia sobre el metabolismo de los lípidos, la presión arterial, el equilibrio energético y los procesos inflamatorios del organismo. Las alteraciones en el estado nutricional, especialmente el sobrepeso y la obesidad, se asocian con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estas implicancias nutricionales adquieren una relevancia particular debido a la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia ambiental. Comprender estas relaciones resulta fundamental para desarrollar estrategias de prevención

y promoción de la salud orientadas a mejorar el bienestar cardiovascular de estas poblaciones.

El análisis del **estado nutricional y del metabolismo en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud** permite comprender la compleja interacción entre factores biológicos, ambientales y nutricionales que influyen en la salud humana. A lo largo de este capítulo se ha abordado el marco teórico y conceptual que sustenta la comprensión del estado nutricional como una variable fundamental en el estudio de la adaptación fisiológica del organismo a condiciones de hipoxia hipobárica.

En primer lugar, se ha revisado la conceptualización del estado nutricional y las bases fisiológicas del metabolismo energético, destacando el papel que desempeñan los nutrientes en la producción de energía y en el mantenimiento de las funciones vitales del organismo. Estos procesos adquieren una relevancia particular en contextos de altura, donde la disponibilidad reducida de oxígeno obliga al organismo a desarrollar mecanismos adaptativos que permitan optimizar el uso del oxígeno y sostener el metabolismo celular.

Asimismo, se ha analizado la **adaptación metabólica a la hipoxia**, fenómeno que involucra cambios en la ventilación pulmonar, en el transporte de oxígeno y en la regulación de la eritropoyesis. Estas adaptaciones permiten mejorar la capacidad del organismo para enfrentar las condiciones ambientales propias de la vida en altura. Sin embargo, la presencia de alteraciones en el estado nutricional, como el sobrepeso, la obesidad o la malnutrición por exceso, puede modificar estas respuestas fisiológicas y generar efectos adversos en la salud.

El capítulo también ha abordado la **epidemiología del sobrepeso y la obesidad en zonas altoandinas**, evidenciando que las poblaciones de altura han experimentado cambios importantes en sus patrones nutricionales debido a procesos de transición nutricional, urbanización y modificaciones en los estilos de vida. Estos cambios han favorecido el incremento del exceso de peso corporal y de enfermedades crónicas no transmisibles, lo que plantea nuevos desafíos para la salud pública en estas regiones.

En relación con la evaluación del estado nutricional, se han descrito diferentes herramientas y métodos utilizados para su medición, incluyendo **indicadores antropométricos, bioquímicos, clínicos y técnicas de análisis de la composición corporal**. Entre estos indicadores destacan el índice de masa corporal, el índice cintura–estatura y los métodos de bioimpedancia eléctrica, los cuales permiten estimar la distribución de la grasa corporal y evaluar el riesgo cardiometabólico asociado al exceso de adiposidad.

Además, se ha analizado la relación entre el estado nutricional y diversos procesos fisiológicos relevantes, como la **función respiratoria, el metabolismo del oxígeno, la eritropoyesis y la salud cardiovascular**. Estas relaciones evidencian que el estado nutricional no solo influye en el equilibrio energético del organismo, sino también en la capacidad del cuerpo para adaptarse a condiciones ambientales específicas, como la hipoxia característica de las regiones de gran altitud.

En particular, la interacción entre nutrición y eritropoyesis constituye un aspecto clave en el estudio de la salud en poblaciones de altura. La producción de eritrocitos depende de la disponibilidad de nutrientes esenciales como hierro, proteínas y vitaminas del complejo B. Un estado nutricional adecuado permite mantener una eritropoyesis equilibrada, mientras que las deficiencias o excesos nutricionales pueden alterar este proceso y contribuir al desarrollo de trastornos hematológicos.

En este contexto, el estudio del estado nutricional adquiere una importancia estratégica para comprender los factores que influyen en la **aparición de eritrocitosis excesiva y otras alteraciones fisiológicas asociadas a la vida en altura**. La integración de conocimientos provenientes de la nutrición, la fisiología y la epidemiología permite analizar de manera más amplia los determinantes de la salud en poblaciones que viven en condiciones ambientales particulares.

En síntesis, el estado nutricional constituye un determinante fundamental en la salud de las poblaciones altoandinas, ya que influye en múltiples procesos fisiológicos

relacionados con el metabolismo energético, la función respiratoria, la circulación sanguínea y la adaptación a la hipoxia. La comprensión de estos procesos proporciona una base conceptual sólida para analizar cómo los hábitos alimentarios y la composición corporal pueden influir en la aparición de trastornos hematológicos y metabólicos en poblaciones de altura.

Este marco teórico establece las bases necesarias para el desarrollo de los capítulos posteriores, en los cuales se profundizará en la relación entre **nutrición, eritrocitosis y salud en poblaciones que habitan en altitudes elevadas**, integrando la evidencia científica con el análisis de casos y resultados de investigación. De esta manera, se busca contribuir al conocimiento científico sobre la interacción entre nutrición y adaptación fisiológica, así como al diseño de estrategias orientadas a mejorar la salud y la calidad de vida de las comunidades que viven en regiones de gran altitud.

CAPÍTULO 2

CONSUMO ALIMENTARIO Y NUTRIENTES RELACIONADOS CON LA ERITROCITOSIS

La alimentación constituye uno de los determinantes más importantes del estado de salud, ya que a través de la dieta el organismo obtiene los **nutrientes necesarios para el funcionamiento metabólico, el mantenimiento de los tejidos y la regulación de diversos procesos fisiológicos**. En el caso de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, la alimentación adquiere una relevancia particular debido a la interacción entre los nutrientes consumidos y los mecanismos de adaptación fisiológica a la hipoxia ambiental. En estas regiones, donde la presión parcial de oxígeno es menor que a nivel del mar, el organismo desarrolla respuestas adaptativas que buscan optimizar el transporte y la utilización del oxígeno en los tejidos (Gonzales, 2011).

Uno de los principales mecanismos de adaptación a la hipoxia es el incremento de la **eritropoyesis**, proceso mediante el cual se produce un mayor número de glóbulos rojos con el fin de mejorar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre. Este aumento en la producción de eritrocitos permite compensar parcialmente la menor disponibilidad de oxígeno en el ambiente. Sin embargo, cuando esta respuesta fisiológica se intensifica de manera excesiva puede desarrollarse una condición conocida como **eritrocitosis excesiva**, caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito que pueden afectar la circulación sanguínea y aumentar el riesgo de complicaciones cardiovasculares (Corante et al., 2017).

Aunque la hipoxia constituye el principal estímulo fisiológico para la producción de eritrocitos, diversos estudios han demostrado que otros factores también pueden influir en la regulación de la eritropoyesis. Entre estos factores destacan el **estado nutricional, el consumo alimentario y la disponibilidad de nutrientes específicos** que participan en la

formación de células sanguíneas y en la síntesis de hemoglobina. La dieta proporciona los elementos esenciales que permiten el adecuado funcionamiento de los procesos hematológicos, por lo que las características de la alimentación pueden desempeñar un papel importante en la regulación de la producción de eritrocitos (Allen y Ahluwalia, 1997).

Entre los nutrientes más relevantes para la eritropoyesis se encuentran el **hierro, las proteínas, el ácido fólico, la vitamina B12 y otros micronutrientes** que intervienen en la síntesis de hemoglobina y en la formación de eritrocitos en la médula ósea. La disponibilidad adecuada de estos nutrientes permite mantener una producción equilibrada de glóbulos rojos, mientras que las deficiencias nutricionales pueden afectar la formación de eritrocitos y generar alteraciones hematológicas, como diferentes tipos de anemia (WHO, 2011). Por otro lado, el consumo excesivo o desequilibrado de ciertos nutrientes también puede influir en procesos metabólicos que afectan la regulación de la eritropoyesis.

En las poblaciones que viven en zonas altoandinas, los **patrones de consumo alimentario** están determinados por factores geográficos, culturales, económicos y ambientales que condicionan la disponibilidad y el acceso a determinados alimentos. Tradicionalmente, la dieta en estas regiones se ha caracterizado por un elevado consumo de tubérculos, cereales andinos y productos derivados de granos, así como por la ingesta de carnes rojas y alimentos ricos en hierro provenientes de la producción local. Estas características dietéticas pueden influir en el metabolismo del hierro y en la regulación de la eritropoyesis (Caballero, 2017).

Sin embargo, en las últimas décadas se han observado cambios importantes en los hábitos alimentarios de muchas poblaciones altoandinas debido a procesos de urbanización, modernización y mayor disponibilidad de alimentos industrializados. Estos cambios han generado modificaciones en el perfil nutricional de las dietas, incluyendo un mayor consumo de alimentos procesados, azúcares y grasas, así como una disminución en la ingesta de alimentos tradicionales ricos en micronutrientes. Estas transformaciones en la alimentación pueden tener implicancias importantes en la salud metabólica y hematológica de las poblaciones de altura.

Asimismo, el consumo alimentario no solo influye en la disponibilidad de nutrientes necesarios para la eritropoyesis, sino también en otros procesos fisiológicos que pueden afectar la **oxigenación tisular, la función respiratoria y el metabolismo energético**. Por ejemplo, el exceso de peso corporal asociado con dietas hipercalóricas puede generar alteraciones en la ventilación pulmonar y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede favorecer estados de hipoxia tisular. Esta situación puede estimular la producción de eritropoyetina y aumentar la formación de eritrocitos como mecanismo compensatorio (Navia et al., 2001).

Desde esta perspectiva, el análisis del consumo alimentario y de los nutrientes asociados con la eritropoyesis resulta fundamental para comprender los factores que pueden influir en la aparición de **eritrocitosis en poblaciones que viven en altitudes elevadas**. El estudio de los patrones dietéticos permite identificar posibles asociaciones entre la ingesta de determinados nutrientes y la regulación de los procesos hematológicos en contextos de hipoxia crónica.

En este sentido, el presente capítulo aborda el análisis de los **principales nutrientes relacionados con la eritropoyesis y su papel en la regulación de la producción de eritrocitos**, así como los patrones de consumo alimentario observados en poblaciones de altura. Se revisan los fundamentos teóricos que explican la relación entre dieta, metabolismo del hierro y formación de hemoglobina, así como las implicancias de los hábitos alimentarios en la salud hematológica y cardiovascular.

Comprender la relación entre consumo alimentario y eritropoyesis permite ampliar la perspectiva sobre los factores que intervienen en la adaptación fisiológica a la altura y en la aparición de eritrocitosis excesiva. Este enfoque integra conocimientos provenientes de la nutrición, la fisiología y la medicina de altura, contribuyendo a generar evidencia científica que pueda orientar estrategias de prevención y promoción de la salud en poblaciones que viven en condiciones de hipoxia ambiental.

2.1 Referentes teóricos

El estudio del **consumo alimentario y de los nutrientes relacionados con la eritrocitosis** requiere un marco teórico que permita comprender cómo la alimentación influye en los procesos hematológicos y en la adaptación fisiológica del organismo a condiciones de hipoxia. La nutrición constituye un factor fundamental en la regulación de múltiples funciones biológicas, entre ellas la producción de células sanguíneas, el metabolismo energético y la capacidad del organismo para mantener un adecuado transporte de oxígeno hacia los tejidos (Allen y Ahluwalia, 1997).

La formación de eritrocitos o **eritropoyesis** es un proceso fisiológico complejo que ocurre principalmente en la médula ósea y que depende de la interacción entre factores hormonales, ambientales y nutricionales. Entre estos factores, la disponibilidad de nutrientes específicos desempeña un papel esencial en la síntesis de hemoglobina y en la proliferación de las células precursoras eritroides. Nutrientes como el hierro, las proteínas, la vitamina B12, el ácido fólico y otros micronutrientes participan directamente en las reacciones metabólicas que permiten la producción de glóbulos rojos funcionales (WHO, 2011).

En condiciones normales, la eritropoyesis se regula principalmente mediante la acción de la **eritropoyetina**, hormona producida en los riñones en respuesta a la disminución de la presión parcial de oxígeno en la sangre. Este mecanismo permite ajustar la producción de eritrocitos según las necesidades del organismo para mantener un adecuado suministro de oxígeno a los tejidos. Sin embargo, la eficacia de este proceso depende en gran medida de la disponibilidad de los nutrientes necesarios para la síntesis de hemoglobina y para la formación de nuevas células sanguíneas (Guyton y Hall, 2016).

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la regulación de la eritropoyesis adquiere características particulares debido a la presencia de **hipoxia hipobárica**, condición que se produce como consecuencia de la disminución de la presión atmosférica y de la menor disponibilidad de oxígeno en el ambiente. Esta situación estimula de manera constante la producción de eritropoyetina y genera un aumento en la

producción de glóbulos rojos como mecanismo de adaptación fisiológica (Gonzales, 2011). No obstante, cuando esta respuesta adaptativa se intensifica de forma excesiva puede desarrollarse la eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico.

La alimentación puede desempeñar un papel importante en este proceso, ya que el consumo de determinados nutrientes puede influir en la regulación de la eritropoyesis y en el metabolismo del hierro. Por ejemplo, dietas con alto contenido de hierro y proteínas pueden favorecer la síntesis de hemoglobina y la formación de eritrocitos, mientras que deficiencias nutricionales pueden limitar la capacidad del organismo para producir células sanguíneas adecuadas (Allen y Ahluwalia, 1997). Asimismo, la biodisponibilidad del hierro puede verse afectada por la presencia de otros componentes de la dieta, como los fitatos, los taninos o la vitamina C, que pueden inhibir o favorecer su absorción.

Además de los micronutrientes relacionados directamente con la eritropoyesis, el **patrón global de la dieta** también puede influir en procesos fisiológicos que afectan el transporte y la utilización del oxígeno. Por ejemplo, el exceso de peso corporal asociado con dietas hipercalóricas puede alterar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno. Estas alteraciones pueden generar estados de hipoxia tisular que estimulan la producción de eritropoyetina y aumentan la producción de eritrocitos (Navia et al., 2001).

En las poblaciones altoandinas, los patrones alimentarios se encuentran condicionados por factores geográficos, culturales y socioeconómicos que influyen en la disponibilidad de alimentos y en las prácticas dietéticas. Tradicionalmente, la dieta en estas regiones se ha basado en alimentos como tubérculos, cereales andinos, legumbres y carnes de origen animal, los cuales aportan nutrientes esenciales para el metabolismo energético y para la formación de células sanguíneas (Caballero, 2017). Sin embargo, los procesos de transición nutricional observados en las últimas décadas han modificado estos patrones dietéticos, introduciendo nuevos alimentos procesados y cambios en el perfil nutricional de la dieta.

Desde el punto de vista teórico, el análisis del consumo alimentario y de los nutrientes relacionados con la eritropoyesis se sustenta en conceptos provenientes de diversas disciplinas, entre ellas la **nutrición, la fisiología, la hematología y la epidemiología nutricional**. Estas disciplinas permiten comprender cómo los factores dietéticos influyen en la regulación de los procesos metabólicos y hematológicos del organismo, así como en la adaptación fisiológica a condiciones ambientales específicas.

En este sentido, los referentes teóricos presentados en esta sección proporcionan las bases conceptuales necesarias para analizar la relación entre la dieta y la producción de eritrocitos. A través de la revisión de los principales nutrientes involucrados en la eritropoyesis, el metabolismo del hierro y los factores dietéticos que influyen en su absorción y utilización, se busca comprender cómo el consumo alimentario puede contribuir al desarrollo o a la prevención de alteraciones hematológicas en poblaciones que viven en condiciones de hipoxia crónica.

De esta manera, el estudio de los referentes teóricos relacionados con el consumo alimentario permite establecer un marco conceptual que facilita el análisis de la relación entre nutrición y eritrocitosis. Este enfoque resulta fundamental para comprender cómo los hábitos alimentarios y la disponibilidad de nutrientes pueden influir en los procesos hematológicos y en la salud de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

2.1.1 Concepto de consumo alimentario

El **consumo alimentario** se refiere al conjunto de alimentos y bebidas que una persona o población ingiere en un periodo determinado con el propósito de satisfacer sus necesidades energéticas y nutricionales. Este concepto constituye un elemento central en la nutrición humana, ya que a través de la alimentación el organismo obtiene los nutrientes necesarios para el crecimiento, el mantenimiento de los tejidos, la producción de energía y la regulación de múltiples funciones fisiológicas (FAO, 2013). El análisis del consumo alimentario permite comprender la calidad, cantidad y frecuencia con que se consumen los alimentos, así como identificar patrones dietéticos que pueden influir en la salud de los individuos.

Desde una perspectiva nutricional, el consumo alimentario se relaciona con la **ingesta de nutrientes**, entendida como la cantidad de macronutrientes y micronutrientes que el organismo recibe a través de la dieta. Los macronutrientes —carbohidratos, proteínas y lípidos— proporcionan energía y cumplen funciones estructurales y metabólicas en el organismo. Por su parte, los micronutrientes —vitaminas y minerales— participan en diversas reacciones bioquímicas esenciales para el funcionamiento adecuado del metabolismo (Gibson, 2005). Un consumo alimentario equilibrado permite cubrir las necesidades nutricionales del organismo y mantener el estado de salud.

El consumo alimentario no depende únicamente de las necesidades fisiológicas del organismo, sino que también está influenciado por diversos **factores sociales, culturales, económicos y ambientales**. Entre estos factores se encuentran la disponibilidad de alimentos, el nivel socioeconómico, las tradiciones culturales, la educación nutricional y las preferencias personales. Estos elementos determinan en gran medida los patrones alimentarios de una población y pueden influir en la calidad nutricional de la dieta (Caballero, 2017).

En el ámbito de la investigación nutricional, el estudio del consumo alimentario permite identificar **patrones dietéticos** que caracterizan la forma en que una población se alimenta. Estos patrones incluyen la frecuencia de consumo de determinados alimentos, la proporción de macronutrientes en la dieta y la presencia de alimentos ricos en micronutrientes esenciales. El análisis de estos patrones resulta fundamental para comprender la relación entre alimentación y salud, así como para identificar factores de riesgo asociados con diversas enfermedades.

La evaluación del consumo alimentario se realiza mediante diferentes **métodos de investigación dietética**, entre los cuales destacan el recordatorio de 24 horas, los cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos y los registros dietéticos. El recordatorio de 24 horas consiste en recopilar información detallada sobre todos los alimentos y bebidas consumidos por un individuo durante el día anterior. Este método

permite obtener una estimación de la ingesta diaria de nutrientes, aunque puede presentar limitaciones relacionadas con la memoria del entrevistado (Gibson, 2005).

Los **cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos** constituyen otro método ampliamente utilizado en estudios epidemiológicos. Estos instrumentos permiten evaluar la frecuencia con la que se consumen diferentes grupos de alimentos durante un periodo prolongado, generalmente semanas o meses. Este tipo de cuestionarios es útil para identificar patrones alimentarios habituales y para analizar la relación entre dieta y riesgo de enfermedades crónicas.

Por otro lado, los **registros dietéticos** consisten en la anotación detallada de todos los alimentos y bebidas consumidos durante un periodo específico, generalmente de tres a siete días. Este método permite obtener información precisa sobre la ingesta alimentaria, aunque requiere un mayor compromiso por parte de los participantes y puede resultar más complejo de implementar en estudios poblacionales.

El análisis del consumo alimentario también permite evaluar la **calidad de la dieta**, es decir, el grado en que la alimentación satisface los requerimientos nutricionales del organismo. Una dieta de buena calidad se caracteriza por la presencia de alimentos variados que aportan nutrientes esenciales, como frutas, verduras, cereales integrales, legumbres, proteínas de alta calidad y grasas saludables. Por el contrario, dietas con alto contenido de alimentos ultraprocesados, azúcares y grasas saturadas pueden generar desequilibrios nutricionales que afectan la salud metabólica.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el consumo alimentario presenta características particulares debido a las condiciones geográficas, climáticas y culturales que influyen en la disponibilidad de alimentos. En muchas comunidades altoandinas, la dieta tradicional se basa en alimentos como **tubérculos, cereales andinos, legumbres y productos de origen animal**, los cuales constituyen la base de la alimentación local y aportan nutrientes importantes para el metabolismo energético (Caballero, 2017).

Estos alimentos tradicionales suelen ser ricos en **carbohidratos complejos, proteínas y minerales**, lo que contribuye a cubrir las necesidades energéticas de las poblaciones que realizan actividades físicas intensas en ambientes de altura. Además, algunos alimentos típicos de estas regiones, como la quinua o la cañihua, contienen una elevada densidad nutricional y aportan aminoácidos esenciales, hierro y otros micronutrientes importantes para la salud.

Sin embargo, en las últimas décadas se han observado cambios importantes en los patrones de consumo alimentario en muchas regiones altoandinas. Estos cambios están asociados con procesos de **transición nutricional**, caracterizados por el aumento en el consumo de alimentos procesados, bebidas azucaradas y productos con alto contenido de grasas y sodio. Estos cambios dietéticos han contribuido al incremento del sobrepeso, la obesidad y otras enfermedades crónicas no transmisibles en diversas poblaciones (FAO, 2013).

En el contexto del estudio de la **eritrocitosis en poblaciones de altura**, el análisis del consumo alimentario adquiere una relevancia especial. La dieta puede influir en la disponibilidad de nutrientes esenciales para la eritropoyesis, como el hierro, las proteínas y ciertas vitaminas del complejo B. Un consumo adecuado de estos nutrientes permite mantener una producción equilibrada de eritrocitos, mientras que deficiencias o excesos nutricionales pueden alterar los procesos hematológicos del organismo (Allen y Ahluwalia, 1997).

Asimismo, los patrones de consumo alimentario pueden influir en otros factores fisiológicos relacionados con la oxigenación tisular, como el estado nutricional, la composición corporal y el metabolismo energético. Por ejemplo, dietas hipercalóricas pueden favorecer el desarrollo de sobrepeso u obesidad, lo que puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno. Estas condiciones pueden estimular mecanismos compensatorios como el aumento en la producción de eritrocitos.

En síntesis, el consumo alimentario constituye un determinante fundamental del estado nutricional y de la salud de las poblaciones. Su análisis permite comprender la forma en que los hábitos alimentarios influyen en el metabolismo, en la disponibilidad de nutrientes y en el riesgo de diversas enfermedades. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, el estudio del consumo alimentario resulta especialmente relevante para analizar la relación entre dieta, metabolismo del hierro y procesos hematológicos asociados a la adaptación fisiológica a la hipoxia.

2.1.2 Determinantes sociales y culturales de la alimentación

La **alimentación humana** no depende únicamente de las necesidades biológicas del organismo, sino que también está influenciada por un conjunto de factores sociales, culturales, económicos y ambientales que condicionan la disponibilidad, selección y consumo de los alimentos. Estos factores, conocidos como **determinantes sociales y culturales de la alimentación**, influyen en los hábitos dietéticos de las personas y de las comunidades, configurando patrones alimentarios que pueden tener efectos importantes en la salud y el estado nutricional (FAO, 2013).

Desde una perspectiva sociocultural, la alimentación constituye una práctica profundamente vinculada a las **tradiciones, valores y costumbres de cada sociedad**. Los alimentos que se consumen, la forma en que se preparan y las ocasiones en que se ingieren suelen estar determinados por la cultura de una comunidad. En muchas sociedades, los alimentos no solo cumplen una función nutricional, sino que también poseen un significado simbólico y social relacionado con la identidad cultural, las celebraciones y las prácticas comunitarias (Contreras y Gracia, 2005).

Uno de los principales determinantes sociales de la alimentación es el **nivel socioeconómico**. La capacidad económica de los hogares influye directamente en el acceso y la disponibilidad de alimentos. Las familias con mayores recursos económicos suelen tener mayor acceso a una diversidad de alimentos, incluidos productos frescos como frutas, verduras, carnes y pescados. En contraste, los hogares con menores ingresos pueden enfrentar limitaciones para adquirir alimentos nutritivos, lo que puede favorecer el consumo

de productos más económicos pero con menor valor nutricional, como alimentos ultraprocesados o ricos en carbohidratos refinados (Caballero, 2017).

Otro factor importante es el **nivel educativo**, particularmente la educación nutricional. Las personas con mayor nivel de educación suelen tener mayor conocimiento sobre la importancia de una alimentación equilibrada y sobre la relación entre dieta y salud. Este conocimiento puede influir en la selección de alimentos más saludables y en la adopción de hábitos alimentarios que favorezcan el bienestar físico. Por el contrario, la falta de información nutricional puede limitar la capacidad de las personas para tomar decisiones alimentarias adecuadas.

La **disponibilidad y accesibilidad de los alimentos** también constituye un determinante importante del consumo alimentario. En muchas regiones rurales o geográficamente aisladas, el acceso a determinados alimentos puede ser limitado debido a factores como la distancia a los mercados, las condiciones climáticas o la infraestructura de transporte. Estas condiciones pueden influir en la variedad de alimentos disponibles y en la composición nutricional de la dieta de las poblaciones (FAO, 2013).

En las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, los factores geográficos y ambientales desempeñan un papel especialmente importante en la configuración de los patrones alimentarios. Las condiciones climáticas, la altitud y las características del suelo pueden influir en los tipos de cultivos que se desarrollan en una región y, por lo tanto, en los alimentos que forman parte de la dieta habitual de la población. En muchas comunidades altoandinas, por ejemplo, la alimentación tradicional se basa en productos agrícolas adaptados a las condiciones de altura, como tubérculos, cereales andinos y legumbres (Caballero, 2017).

La **cultura alimentaria** también influye en la forma en que se preparan y consumen los alimentos. Las técnicas de preparación, los métodos de cocción y las combinaciones de ingredientes suelen transmitirse de generación en generación, formando parte del

patrimonio cultural de las comunidades. Estas prácticas culinarias pueden influir en la biodisponibilidad de los nutrientes y en la calidad nutricional de los alimentos consumidos.

Otro aspecto relevante es el papel de la **familia y del entorno social** en la formación de los hábitos alimentarios. Las preferencias alimentarias se desarrollan en gran medida durante la infancia y están influenciadas por las prácticas alimentarias del hogar. Los hábitos adquiridos en la familia, como los horarios de las comidas, el tipo de alimentos consumidos y las porciones servidas, pueden persistir a lo largo de la vida y afectar el estado nutricional de las personas.

En las últimas décadas, los procesos de **urbanización y globalización** han generado cambios importantes en los patrones alimentarios de muchas poblaciones. La expansión de la industria alimentaria y el aumento de la disponibilidad de alimentos procesados han modificado las dietas tradicionales en diversas regiones del mundo. Estos cambios han contribuido al aumento del consumo de alimentos con alto contenido de grasas, azúcares y sodio, lo que se asocia con un mayor riesgo de enfermedades crónicas no transmisibles (Popkin, 2017).

En las comunidades altoandinas, estos procesos de cambio han generado una **transición nutricional**, caracterizada por la coexistencia de prácticas alimentarias tradicionales con nuevos hábitos alimentarios influenciados por el mercado global. Esta transición puede modificar la ingesta de nutrientes esenciales y afectar el estado nutricional de las poblaciones, especialmente cuando los alimentos tradicionales ricos en nutrientes son reemplazados por productos procesados de menor valor nutricional.

En el contexto del estudio de la **eritrocitosis en poblaciones de altura**, los determinantes sociales y culturales de la alimentación adquieren especial importancia. Los patrones alimentarios condicionados por la cultura y el entorno pueden influir en la disponibilidad y el consumo de nutrientes relacionados con la eritropoyesis, como el hierro, las proteínas y las vitaminas del complejo B. La forma en que se seleccionan y combinan

los alimentos puede afectar la absorción de estos nutrientes y, en consecuencia, la producción de eritrocitos.

Además, los cambios en los hábitos alimentarios asociados con la transición nutricional pueden influir en el **estado nutricional y en la composición corporal** de las poblaciones de altura. El aumento del consumo de alimentos hipercalóricos y el desarrollo de sobrepeso u obesidad pueden generar alteraciones metabólicas que afectan la función respiratoria y la oxigenación tisular, factores que pueden influir en la regulación de la eritropoyesis.

En conclusión, los determinantes sociales y culturales desempeñan un papel fundamental en la configuración de los hábitos alimentarios de las poblaciones. Factores como el nivel socioeconómico, la educación, la disponibilidad de alimentos, las tradiciones culturales y los procesos de urbanización influyen en la selección y el consumo de alimentos. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, estos determinantes adquieren una relevancia particular, ya que condicionan la ingesta de nutrientes que participan en procesos fisiológicos clave, como la eritropoyesis y la adaptación del organismo a la hipoxia ambiental.

2.1.3 Transición nutricional en poblaciones andinas

La **transición nutricional** es un proceso caracterizado por cambios progresivos en los patrones de alimentación, actividad física y estado nutricional de las poblaciones como consecuencia de transformaciones económicas, sociales, demográficas y culturales. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en diferentes regiones del mundo y se asocia con la sustitución de dietas tradicionales por dietas con mayor contenido de alimentos procesados, grasas saturadas, azúcares refinados y sodio (Popkin, 2017). Estos cambios en los hábitos alimentarios han contribuido al incremento global del sobrepeso, la obesidad y las enfermedades crónicas no transmisibles.

En el caso de las **poblaciones andinas**, la transición nutricional se ha desarrollado en las últimas décadas como resultado de procesos de urbanización, modernización de los

sistemas alimentarios, migración rural-urbana y mayor integración a los mercados nacionales e internacionales. Estos procesos han modificado la disponibilidad de alimentos y las prácticas alimentarias tradicionales, generando cambios importantes en la calidad y composición de la dieta (Caballero, 2017).

Históricamente, la alimentación de las poblaciones que habitan en los Andes se caracterizaba por una dieta basada en **productos agrícolas locales**, como tubérculos, cereales andinos, legumbres y alimentos de origen animal provenientes de la ganadería local. Entre los alimentos más representativos de la dieta andina se encuentran la papa, la quinua, la cañihua, el maíz y diversas variedades de legumbres, los cuales constituyen fuentes importantes de carbohidratos complejos, proteínas y micronutrientes esenciales. Estas dietas tradicionales se caracterizaban por un alto contenido de fibra y una baja proporción de grasas saturadas y alimentos procesados (FAO, 2013).

Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado una transformación progresiva en los **patrones de consumo alimentario** en las regiones andinas. La expansión de la industria alimentaria, el aumento de la disponibilidad de productos ultraprocesados y el cambio en los estilos de vida han contribuido a modificar la composición de la dieta en estas poblaciones. Actualmente, en muchas comunidades andinas se observa un incremento en el consumo de alimentos procesados, bebidas azucaradas, productos con alto contenido de grasas y alimentos refinados.

Este cambio en la dieta ha estado acompañado por una reducción en la **actividad física**, especialmente en zonas urbanizadas o en comunidades que han experimentado cambios en sus actividades laborales. La mecanización del trabajo agrícola, el aumento del uso de transporte motorizado y la adopción de estilos de vida más sedentarios han contribuido a disminuir el gasto energético diario de la población (Popkin, 2017).

Como resultado de estos cambios, muchas poblaciones andinas han experimentado un proceso de **doble carga de la malnutrición**, fenómeno caracterizado por la coexistencia de problemas de desnutrición y exceso de peso dentro de una misma población. En algunas

comunidades rurales aún persisten problemas de desnutrición y deficiencias de micronutrientes, especialmente en niños y mujeres en edad reproductiva. Al mismo tiempo, se observa un aumento progresivo del sobrepeso y la obesidad en adultos, lo que refleja la complejidad del proceso de transición nutricional.

Diversos estudios epidemiológicos realizados en países andinos han evidenciado un incremento significativo en la prevalencia de **sobrepeso y obesidad**, incluso en poblaciones que viven en altitudes elevadas. Este fenómeno se relaciona con cambios en los hábitos alimentarios y con el aumento en el consumo de alimentos energéticamente densos pero con bajo valor nutricional. Estos cambios dietéticos se asocian con un mayor riesgo de enfermedades metabólicas, como diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares (Caballero, 2017).

En el contexto de las **poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**, la transición nutricional puede tener implicancias importantes en la salud y en los procesos fisiológicos relacionados con la adaptación a la hipoxia ambiental. El exceso de peso corporal asociado con dietas hipercalóricas puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno. Estas alteraciones pueden generar estados de hipoxia tisular que estimulan la producción de eritropoyetina y pueden influir en la regulación de la eritropoyesis.

Asimismo, los cambios en los patrones alimentarios pueden afectar la **ingesta de micronutrientes esenciales**, como el hierro, el ácido fólico y la vitamina B12, los cuales desempeñan un papel importante en la producción de eritrocitos. La disminución en el consumo de alimentos tradicionales ricos en nutrientes y el aumento del consumo de alimentos procesados pueden generar desequilibrios nutricionales que afectan el metabolismo del hierro y la formación de hemoglobina.

Otro aspecto relevante de la transición nutricional en las regiones andinas es la transformación de los **sistemas alimentarios locales**. La creciente dependencia de alimentos importados o industrializados puede reducir la producción y el consumo de

alimentos tradicionales, lo que puede afectar la diversidad alimentaria y la seguridad nutricional de las comunidades. La pérdida progresiva de prácticas agrícolas tradicionales también puede influir en la disponibilidad de alimentos nutritivos adaptados a las condiciones ecológicas de la región.

Desde la perspectiva de la salud pública, la transición nutricional plantea importantes desafíos para las poblaciones andinas. El incremento del sobrepeso y de las enfermedades crónicas no transmisibles requiere el desarrollo de estrategias orientadas a promover **hábitos alimentarios saludables y estilos de vida activos**. Estas estrategias deben considerar las características culturales, sociales y ambientales de las comunidades andinas, así como la importancia de preservar y promover los alimentos tradicionales que forman parte del patrimonio alimentario de la región.

En el contexto del estudio de la **eritrocitosis en poblaciones de altura**, la transición nutricional representa un factor relevante que puede influir en el estado nutricional, la composición corporal y el metabolismo de los nutrientes relacionados con la eritropoyesis. Comprender cómo los cambios en los patrones alimentarios afectan estos procesos permite ampliar la perspectiva sobre los determinantes nutricionales de la salud en poblaciones que viven en condiciones de hipoxia crónica.

En conclusión, la transición nutricional en poblaciones andinas refleja un proceso complejo de transformación en los hábitos alimentarios y en los estilos de vida. Este proceso ha generado cambios significativos en el estado nutricional de estas poblaciones, caracterizados por la coexistencia de problemas de desnutrición y exceso de peso. El análisis de este fenómeno resulta fundamental para comprender los cambios epidemiológicos en la salud de las poblaciones de altura y para diseñar estrategias orientadas a mejorar la calidad de la alimentación y el bienestar de las comunidades andinas.

2.1.4 Patrones alimentarios en zonas altoandinas

Los **patrones alimentarios** se refieren al conjunto de alimentos que se consumen habitualmente en una población, así como a la frecuencia, combinación y formas de

preparación de dichos alimentos. Estos patrones reflejan las prácticas alimentarias tradicionales de una comunidad y están influenciados por factores geográficos, culturales, económicos y sociales. En las **zonas altoandinas**, los patrones alimentarios presentan características particulares que han sido moldeadas por las condiciones ecológicas de la región, la disponibilidad de recursos naturales y las tradiciones culturales de las poblaciones que habitan en estas áreas (FAO, 2013).

Las regiones altoandinas se caracterizan por condiciones ambientales específicas, como bajas temperaturas, suelos de altitud y una menor presión parcial de oxígeno. Estas condiciones han influido históricamente en los sistemas de producción agrícola y en los alimentos disponibles para el consumo humano. Como resultado, las dietas tradicionales en estas regiones se han basado principalmente en **productos agrícolas adaptados a las condiciones de altura**, tales como tubérculos, cereales andinos y legumbres (Caballero, 2017).

Entre los alimentos más representativos de los patrones alimentarios altoandinos se encuentran los **tubérculos**, especialmente la papa, que constituye uno de los principales alimentos básicos de la dieta andina. La papa y otros tubérculos, como la oca y la mashua, aportan carbohidratos complejos que representan una fuente importante de energía para las poblaciones que realizan actividades físicas en ambientes de gran altitud. Además, estos alimentos contienen vitaminas y minerales que contribuyen al mantenimiento del metabolismo energético.

Otro grupo importante dentro de la alimentación altoandina está conformado por los **cereales y pseudocereales andinos**, entre los cuales destacan la quinua, la cañihua y el maíz. Estos alimentos poseen un alto valor nutricional y aportan proteínas de buena calidad, fibra dietética y diversos micronutrientes esenciales. En particular, la quinua ha sido reconocida por su contenido equilibrado de aminoácidos esenciales y por su aporte significativo de hierro, magnesio y vitaminas del complejo B.

Las **legumbres** también forman parte importante de los patrones alimentarios en muchas comunidades altoandinas. Alimentos como las habas y los frijoles aportan proteínas vegetales, fibra y diversos minerales, lo que contribuye a mejorar la calidad nutricional de la dieta. La combinación de legumbres con cereales y tubérculos permite obtener un perfil de aminoácidos más completo, favoreciendo una alimentación equilibrada.

Además de los productos agrícolas, los **alimentos de origen animal** también desempeñan un papel importante en la dieta altoandina. Entre estos alimentos se encuentran las carnes provenientes de animales adaptados a las condiciones de altura, como la alpaca, la llama y el cuy. Estas carnes constituyen fuentes importantes de proteínas de alta calidad y de micronutrientes como el hierro, el zinc y la vitamina B12, nutrientes esenciales para la formación de hemoglobina y para la producción de eritrocitos (Allen y Ahluwalia, 1997).

Los **productos lácteos**, como la leche y el queso, también forman parte de la alimentación en algunas comunidades altoandinas, especialmente en aquellas donde se desarrolla la ganadería. Estos alimentos aportan proteínas, calcio y vitaminas liposolubles que contribuyen al mantenimiento de la salud ósea y al adecuado funcionamiento del metabolismo.

La preparación de los alimentos en las comunidades altoandinas suele realizarse mediante **técnicas culinarias tradicionales**, como la cocción prolongada, el secado y la fermentación. Estas técnicas permiten conservar los alimentos y mejorar su disponibilidad durante periodos en los que la producción agrícola es limitada. Un ejemplo de estas prácticas es la elaboración del **chuño**, un producto obtenido a partir de la deshidratación natural de la papa mediante la exposición a bajas temperaturas nocturnas y a la radiación solar durante el día. Este proceso permite conservar el alimento durante largos periodos y constituye una fuente importante de carbohidratos en la dieta tradicional.

A pesar de la riqueza nutricional de los alimentos tradicionales andinos, en las últimas décadas se han observado cambios significativos en los patrones alimentarios de muchas comunidades altoandinas. Estos cambios están asociados con procesos de

urbanización, modernización y globalización de los sistemas alimentarios, que han incrementado la disponibilidad de alimentos procesados y productos industrializados en estas regiones (Popkin, 2017).

Como consecuencia de estos cambios, se ha registrado un aumento en el consumo de **alimentos ultraprocesados, bebidas azucaradas y productos con alto contenido de grasas y sodio**, lo que ha modificado la composición nutricional de la dieta en muchas comunidades de altura. Este fenómeno se relaciona con el proceso de transición nutricional y con el incremento del sobrepeso y de las enfermedades crónicas no transmisibles en diversas poblaciones andinas.

En el contexto de la salud y de la adaptación fisiológica a la altura, los patrones alimentarios altoandinos pueden tener implicancias importantes en procesos metabólicos relacionados con la **eritropoyesis y el transporte de oxígeno**. La dieta tradicional, rica en alimentos de origen vegetal y animal que aportan hierro, proteínas y vitaminas del complejo B, puede contribuir a mantener una producción adecuada de eritrocitos y a favorecer el transporte eficiente de oxígeno hacia los tejidos.

Por el contrario, los cambios en los hábitos alimentarios asociados con el consumo de alimentos procesados y dietas hipercalóricas pueden influir en el **estado nutricional y en la composición corporal** de las poblaciones de altura. El desarrollo de sobrepeso u obesidad puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que podría influir en la regulación de la eritropoyesis y en la aparición de alteraciones hematológicas.

Desde la perspectiva de la salud pública, comprender los patrones alimentarios en zonas altoandinas resulta fundamental para diseñar **estrategias de intervención nutricional** que promuevan la conservación de las prácticas alimentarias tradicionales y el consumo de alimentos nutritivos adaptados al entorno local. La promoción de dietas basadas en alimentos tradicionales puede contribuir a mejorar la calidad de la alimentación y a prevenir enfermedades relacionadas con la malnutrición.

En conclusión, los patrones alimentarios en las zonas altoandinas reflejan una combinación de prácticas alimentarias tradicionales y cambios recientes asociados con la transición nutricional. La dieta tradicional andina se caracteriza por el consumo de tubérculos, cereales andinos, legumbres y alimentos de origen animal, los cuales aportan nutrientes esenciales para el metabolismo energético y la producción de células sanguíneas. El análisis de estos patrones alimentarios permite comprender mejor la relación entre dieta, estado nutricional y procesos fisiológicos relacionados con la adaptación del organismo a la vida en condiciones de gran altitud.

2.1.5 Influencia de la dieta en enfermedades crónicas

La **dieta** constituye uno de los principales determinantes de la salud humana y desempeña un papel fundamental en la prevención y desarrollo de diversas **enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT)**. Estas enfermedades, entre las que se incluyen la diabetes mellitus tipo 2, la hipertensión arterial, las enfermedades cardiovasculares, la obesidad y ciertos tipos de cáncer, representan actualmente una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, 2020). Numerosos estudios han demostrado que los hábitos alimentarios influyen directamente en el metabolismo energético, en la regulación hormonal y en los procesos inflamatorios del organismo, factores que se encuentran estrechamente relacionados con la aparición de estas patologías.

Una dieta equilibrada, caracterizada por el consumo adecuado de **frutas, verduras, cereales integrales, legumbres, proteínas de calidad y grasas saludables**, contribuye a mantener el equilibrio metabólico del organismo y a reducir el riesgo de enfermedades crónicas. Estos alimentos aportan vitaminas, minerales, fibra dietética y compuestos antioxidantes que participan en la regulación del metabolismo y en la protección del organismo frente al estrés oxidativo y la inflamación (Gibson, 2005). Por el contrario, dietas con alto contenido de grasas saturadas, azúcares refinados y alimentos ultraprocesados pueden alterar estos procesos fisiológicos y favorecer el desarrollo de enfermedades metabólicas.

Uno de los principales mecanismos mediante los cuales la dieta influye en las enfermedades crónicas es a través de su efecto sobre el **balance energético y el peso corporal**. El consumo excesivo de alimentos con alta densidad energética puede generar un desequilibrio entre la ingesta calórica y el gasto energético, lo que conduce a la acumulación de tejido adiposo y al desarrollo de sobrepeso u obesidad. El exceso de grasa corporal, especialmente cuando se concentra en la región abdominal, se asocia con un mayor riesgo de alteraciones metabólicas como resistencia a la insulina, dislipidemia e hipertensión arterial (Després, 2012).

La **resistencia a la insulina** constituye uno de los principales factores implicados en el desarrollo de la diabetes mellitus tipo 2. Esta condición se caracteriza por una disminución en la capacidad de las células para responder a la acción de la insulina, lo que provoca un aumento en los niveles de glucosa en sangre. Dietas con alto contenido de azúcares simples y carbohidratos refinados pueden favorecer el desarrollo de esta alteración metabólica al generar picos elevados de glucosa en la sangre y aumentar la demanda de insulina por parte del organismo.

Otro aspecto importante es la relación entre la dieta y las **enfermedades cardiovasculares**, las cuales están estrechamente relacionadas con alteraciones en el metabolismo de los lípidos. El consumo excesivo de grasas saturadas y grasas trans puede aumentar los niveles de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL), lo que favorece la formación de placas ateroscleróticas en las arterias. Este proceso, conocido como **aterosclerosis**, puede reducir el flujo sanguíneo hacia órganos vitales y aumentar el riesgo de infarto de miocardio o accidente cerebrovascular (WHO, 2020).

Además de las grasas, el **consumo elevado de sodio** en la dieta se ha asociado con el desarrollo de hipertensión arterial. El exceso de sodio puede favorecer la retención de líquidos en el organismo y aumentar la presión ejercida sobre las paredes de los vasos sanguíneos. La hipertensión arterial constituye uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y representa un problema importante de salud pública en muchas poblaciones.

La dieta también puede influir en los procesos de **inflamación crónica de bajo grado**, condición que se ha relacionado con diversas enfermedades metabólicas. El consumo excesivo de alimentos ultraprocesados, ricos en grasas saturadas y azúcares refinados, puede estimular la producción de citocinas proinflamatorias que contribuyen al desarrollo de inflamación sistémica. Esta inflamación crónica puede afectar el funcionamiento de diferentes órganos y favorecer el desarrollo de enfermedades como la diabetes, la obesidad y las enfermedades cardiovasculares (Popkin, 2017).

En contraste, algunos componentes de la dieta poseen efectos **protectores frente a las enfermedades crónicas**. Por ejemplo, la fibra dietética presente en frutas, verduras, legumbres y cereales integrales contribuye a mejorar el metabolismo de la glucosa y a reducir los niveles de colesterol en sangre. Asimismo, los antioxidantes presentes en alimentos de origen vegetal ayudan a neutralizar los radicales libres y a disminuir el estrés oxidativo, proceso que se asocia con el desarrollo de diversas enfermedades crónicas.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la influencia de la dieta en las enfermedades crónicas adquiere características particulares debido a la interacción entre la nutrición y los procesos fisiológicos asociados a la hipoxia ambiental. La exposición a la hipoxia hipobárica puede generar cambios en el metabolismo energético, en la función cardiovascular y en la regulación de la eritropoyesis (Gonzales, 2011). Cuando estos cambios se combinan con dietas desequilibradas y con alteraciones en el estado nutricional, el riesgo de enfermedades crónicas puede incrementarse.

En muchas poblaciones altoandinas, los cambios en los patrones alimentarios asociados con la **transición nutricional** han favorecido el aumento del consumo de alimentos procesados y bebidas azucaradas. Estos cambios dietéticos han contribuido al incremento del sobrepeso y la obesidad, así como al aumento de enfermedades metabólicas en comunidades que tradicionalmente presentaban dietas más equilibradas basadas en alimentos locales.

Asimismo, el desarrollo de enfermedades crónicas puede tener implicancias importantes en la **capacidad del organismo para adaptarse a la altura**. Por ejemplo, la obesidad puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede generar estados de hipoxia tisular. Esta situación puede estimular la producción de eritropoyetina y aumentar la producción de eritrocitos, lo que podría influir en la aparición de eritrocitosis en poblaciones que viven en altitudes elevadas.

Desde la perspectiva de la salud pública, la promoción de **hábitos alimentarios saludables** constituye una estrategia fundamental para prevenir el desarrollo de enfermedades crónicas. Las recomendaciones nutricionales suelen enfatizar el consumo de alimentos naturales y mínimamente procesados, la reducción de grasas saturadas y azúcares refinados, así como el mantenimiento de un equilibrio entre la ingesta energética y la actividad física.

En conclusión, la dieta desempeña un papel determinante en la aparición y prevención de enfermedades crónicas no transmisibles. Los patrones alimentarios influyen en el metabolismo energético, en la regulación hormonal y en los procesos inflamatorios del organismo, factores que pueden favorecer o prevenir el desarrollo de estas enfermedades. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, comprender la influencia de la dieta en la salud resulta especialmente importante para analizar la interacción entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia ambiental.

2.1.6 Rol de los macronutrientes en el metabolismo energético

Los **macronutrientes** son los componentes de la dieta que el organismo requiere en mayores cantidades para satisfacer sus necesidades energéticas y estructurales. Estos incluyen **carbohidratos, proteínas y lípidos**, los cuales cumplen funciones esenciales en el metabolismo energético, el crecimiento, la reparación de tejidos y la regulación de diversos procesos fisiológicos. A través de su metabolismo, los macronutrientes proporcionan la energía necesaria para mantener las funciones vitales del organismo, incluyendo la respiración, la circulación sanguínea, la actividad muscular y el funcionamiento del sistema nervioso (Guyton y Hall, 2016).

El metabolismo energético se basa en la capacidad del organismo para transformar los nutrientes provenientes de los alimentos en **adenosín trifosfato (ATP)**, la principal molécula que almacena y libera energía en las células. Este proceso se lleva a cabo mediante una serie de reacciones bioquímicas que incluyen la digestión, absorción, transporte y utilización de los nutrientes en diferentes tejidos del organismo. Cada uno de los macronutrientes participa de manera específica en estas rutas metabólicas y contribuye al suministro energético de acuerdo con las necesidades fisiológicas del cuerpo.

Los **carbohidratos** constituyen la principal fuente de energía para el organismo humano. Estos nutrientes se encuentran principalmente en alimentos como cereales, tubérculos, frutas y legumbres. Durante el proceso digestivo, los carbohidratos se descomponen en moléculas de glucosa, las cuales son absorbidas en el intestino y transportadas a través del torrente sanguíneo hacia las células. La glucosa puede ser utilizada inmediatamente como fuente de energía o almacenada en forma de glucógeno en el hígado y en los músculos para su utilización posterior (Gibson, 2005).

El metabolismo de la glucosa se lleva a cabo mediante procesos bioquímicos como la **glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones**, que permiten la producción de ATP en las mitocondrias celulares. Estos procesos son fundamentales para mantener el funcionamiento de tejidos con alta demanda energética, como el cerebro y los músculos. En situaciones de actividad física intensa o de mayor demanda metabólica, el organismo puede movilizar las reservas de glucógeno para mantener un suministro constante de energía.

Los **lípidos**, también conocidos como grasas, representan la principal forma de almacenamiento de energía en el organismo. Estos nutrientes se encuentran en alimentos como aceites vegetales, frutos secos, productos lácteos y carnes. Los lípidos aportan aproximadamente **nueve kilocalorías por gramo**, lo que los convierte en la fuente energética más concentrada de la dieta. Además de su función energética, las grasas desempeñan un papel importante en la estructura de las membranas celulares, en la síntesis de hormonas y en la absorción de vitaminas liposolubles (Guyton y Hall, 2016).

Cuando el organismo requiere energía adicional, especialmente durante periodos de ayuno o ejercicio prolongado, los lípidos almacenados en el tejido adiposo pueden ser movilizados y transformados en **ácidos grasos**, los cuales son transportados hacia las células para ser utilizados como fuente de energía. Este proceso ocurre principalmente a través de la **beta-oxidación**, una serie de reacciones metabólicas que permiten convertir los ácidos grasos en moléculas que ingresan al ciclo de Krebs para la producción de ATP.

Las **proteínas** cumplen principalmente funciones estructurales y funcionales en el organismo, aunque también pueden contribuir al metabolismo energético en determinadas circunstancias. Las proteínas están formadas por aminoácidos, los cuales participan en la formación de tejidos corporales, enzimas, hormonas y otros compuestos biológicos esenciales. En condiciones normales, las proteínas no se utilizan como fuente primaria de energía; sin embargo, cuando las reservas de carbohidratos y grasas son insuficientes, los aminoácidos pueden ser convertidos en intermediarios metabólicos que participan en la producción de energía (Gibson, 2005).

Además de su papel en el metabolismo energético, los macronutrientes también influyen en la **regulación del apetito, el equilibrio energético y la composición corporal**. La proporción de carbohidratos, proteínas y grasas en la dieta puede afectar la velocidad de absorción de nutrientes, la liberación de hormonas relacionadas con la saciedad y el almacenamiento de energía en el organismo. Por esta razón, el equilibrio entre los macronutrientes constituye un aspecto fundamental para mantener un estado nutricional adecuado.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el papel de los macronutrientes en el metabolismo energético adquiere una relevancia particular debido a las condiciones fisiológicas asociadas a la **hipoxia hipobárica**. La menor disponibilidad de oxígeno en el ambiente puede influir en la forma en que el organismo utiliza los diferentes sustratos energéticos. Algunos estudios han sugerido que en condiciones de hipoxia el organismo puede aumentar la utilización de carbohidratos como

fuente de energía, ya que su metabolismo requiere una menor cantidad de oxígeno en comparación con la oxidación de grasas (Gonzales, 2011).

Este cambio en el metabolismo energético puede representar una adaptación fisiológica que permite mejorar la eficiencia del uso del oxígeno en condiciones de altura. En este contexto, la composición de la dieta puede influir en la disponibilidad de sustratos energéticos adecuados para enfrentar las demandas metabólicas del organismo. Una dieta equilibrada que proporcione cantidades adecuadas de carbohidratos, proteínas y grasas puede contribuir a mantener el metabolismo energético y la capacidad funcional del organismo en ambientes de gran altitud.

Asimismo, el equilibrio entre macronutrientes puede influir en el **estado nutricional y en la composición corporal** de las poblaciones de altura. Dietas con alto contenido energético pueden favorecer el desarrollo de sobrepeso u obesidad, lo que puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno. Estas condiciones pueden generar estados de hipoxia tisular que podrían estimular mecanismos compensatorios como el aumento de la eritropoyesis.

Desde la perspectiva de la salud pública y de la nutrición, comprender el papel de los macronutrientes en el metabolismo energético resulta fundamental para diseñar **estrategias dietéticas adecuadas** que permitan mejorar el estado nutricional y la salud de las poblaciones. En regiones de gran altitud, donde las condiciones ambientales generan mayores demandas fisiológicas, una alimentación equilibrada puede contribuir a optimizar la utilización de energía y a favorecer la adaptación del organismo a la hipoxia.

En conclusión, los macronutrientes desempeñan un papel esencial en el metabolismo energético al proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento del organismo y al participar en diversas funciones estructurales y metabólicas. Los carbohidratos, las proteínas y los lípidos contribuyen de manera complementaria al suministro energético y a la regulación de múltiples procesos fisiológicos. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, el estudio del papel de los macronutrientes adquiere una importancia particular

debido a su relación con la adaptación metabólica a la hipoxia y con los procesos fisiológicos asociados al transporte y utilización del oxígeno en el organismo.

2.1.7 Micronutrientes y su función en la hematopoyesis

La **hematopoyesis** es el proceso fisiológico mediante el cual se producen las células sanguíneas —eritrocitos, leucocitos y plaquetas— a partir de células madre hematopoyéticas localizadas principalmente en la médula ósea. Este proceso es fundamental para el mantenimiento de la homeostasis del organismo, ya que las células sanguíneas participan en funciones esenciales como el transporte de oxígeno, la defensa inmunológica y la coagulación sanguínea (Guyton y Hall, 2016). La adecuada producción de estas células depende de múltiples factores fisiológicos, entre ellos la disponibilidad de **micronutrientes esenciales**, los cuales participan en diversas etapas de la formación y maduración de las células sanguíneas.

Los **micronutrientes** incluyen vitaminas y minerales que el organismo requiere en pequeñas cantidades, pero que desempeñan funciones críticas en el metabolismo celular y en la regulación de procesos fisiológicos. En el contexto de la hematopoyesis, varios micronutrientes intervienen en la síntesis de ADN, en la formación de hemoglobina y en la diferenciación de las células precursoras sanguíneas (WHO, 2011). La deficiencia de estos nutrientes puede alterar la producción de células sanguíneas y provocar diversas alteraciones hematológicas, incluyendo diferentes tipos de anemia.

Uno de los micronutrientes más importantes en la hematopoyesis es el **hierro**, mineral esencial que forma parte de la molécula de hemoglobina. La hemoglobina es una proteína presente en los eritrocitos que permite el transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos. El hierro constituye el componente central del grupo hemo de la hemoglobina, lo que le permite unirse al oxígeno y facilitar su transporte a través del sistema circulatorio (Allen y Ahluwalia, 1997). La deficiencia de hierro puede disminuir la síntesis de hemoglobina y provocar **anemia ferropénica**, una de las formas más comunes de anemia en el mundo.

Otro micronutriente fundamental para la hematopoyesis es la **vitamina B12 (cobalamina)**, la cual desempeña un papel esencial en la síntesis de ADN y en la división celular. Durante la formación de eritrocitos en la médula ósea, las células precursoras deben dividirse rápidamente para generar nuevas células sanguíneas. La vitamina B12 participa en las reacciones metabólicas necesarias para la replicación del ADN, lo que permite la maduración adecuada de los eritrocitos. La deficiencia de esta vitamina puede producir **anemia megaloblástica**, caracterizada por la presencia de eritrocitos de gran tamaño y menor funcionalidad (Gibson, 2005).

El **ácido fólico (vitamina B9)** también desempeña un papel importante en la síntesis de ADN y en la proliferación celular durante la hematopoyesis. Al igual que la vitamina B12, el ácido fólico participa en las reacciones metabólicas necesarias para la formación de nuevas células sanguíneas. La deficiencia de ácido fólico puede afectar la maduración de los eritrocitos y provocar anemia megaloblástica. Esta vitamina se encuentra principalmente en alimentos como verduras de hoja verde, legumbres y algunos cereales.

Además del hierro y de las vitaminas del complejo B, otros minerales como el **cobre** también participan en el metabolismo del hierro y en la formación de células sanguíneas. El cobre interviene en la actividad de diversas enzimas que facilitan el transporte y la utilización del hierro en el organismo. La deficiencia de este mineral puede afectar el metabolismo del hierro y contribuir al desarrollo de anemia (Allen y Ahluwalia, 1997).

El **zinc** es otro micronutriente que participa en diversos procesos celulares relacionados con la hematopoyesis. Este mineral actúa como cofactor en numerosas enzimas involucradas en la síntesis de proteínas y en la replicación del ADN. El zinc también desempeña un papel importante en la función del sistema inmunológico y en la proliferación celular, procesos que están relacionados con la producción de células sanguíneas.

Asimismo, algunas **vitaminas antioxidantes**, como la vitamina C y la vitamina E, contribuyen indirectamente al proceso hematopoyético al proteger las células sanguíneas frente al daño oxidativo. La vitamina C, en particular, desempeña un papel importante en la

absorción del hierro en el intestino, ya que facilita la conversión del hierro férrico a hierro ferroso, forma que se absorbe con mayor facilidad en el organismo (WHO, 2011). De esta manera, la vitamina C contribuye a mejorar la biodisponibilidad del hierro presente en la dieta.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, los micronutrientes relacionados con la hematopoyesis adquieren una relevancia particular debido a la presencia de **hipoxia hipobárica**, condición que estimula la producción de eritrocitos como mecanismo de adaptación fisiológica. La disminución de la presión parcial de oxígeno en el ambiente induce la liberación de eritropoyetina, hormona que estimula la médula ósea para aumentar la producción de glóbulos rojos (Gonzales, 2011).

Este aumento en la producción de eritrocitos implica una mayor demanda de micronutrientes involucrados en la síntesis de hemoglobina y en la formación de nuevas células sanguíneas. En este contexto, la disponibilidad adecuada de hierro, ácido fólico, vitamina B12 y otros micronutrientes resulta fundamental para mantener una producción eficiente de eritrocitos y para favorecer la adaptación del organismo a las condiciones de hipoxia.

Sin embargo, cuando la disponibilidad de estos nutrientes es insuficiente, el organismo puede presentar limitaciones en la capacidad de producir eritrocitos de manera adecuada, lo que puede afectar el transporte de oxígeno hacia los tejidos. Por otro lado, una ingesta elevada de ciertos nutrientes relacionados con la eritropoyesis, especialmente hierro y proteínas, podría influir en la regulación de la producción de eritrocitos en poblaciones expuestas a hipoxia crónica.

Desde la perspectiva de la nutrición y de la salud pública, el análisis del papel de los micronutrientes en la hematopoyesis resulta fundamental para comprender la relación entre **dieta, metabolismo del hierro y producción de células sanguíneas**. La promoción de dietas equilibradas que incluyan alimentos ricos en hierro, vitaminas del complejo B y otros

micronutrientes esenciales puede contribuir a mantener una adecuada producción de eritrocitos y a prevenir alteraciones hematológicas.

En conclusión, los micronutrientes desempeñan un papel esencial en la regulación de la hematopoyesis, ya que participan en procesos metabólicos clave como la síntesis de hemoglobina, la replicación del ADN y la proliferación celular. Nutrientes como el hierro, la vitamina B12, el ácido fólico, el cobre y el zinc son indispensables para la producción adecuada de células sanguíneas. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, donde la hipoxia ambiental estimula la eritropoyesis, la disponibilidad adecuada de estos micronutrientes adquiere una importancia particular para el mantenimiento de la salud hematológica y para la adaptación fisiológica a las condiciones de altura.

2.1.8 Hierro dietético y metabolismo del hierro

El **hierro** es un micronutriente esencial que desempeña un papel fundamental en múltiples funciones biológicas, especialmente en el **transporte de oxígeno, la producción de energía y la síntesis de ADN**. Este mineral forma parte de diversas proteínas y enzimas involucradas en el metabolismo celular, siendo la **hemoglobina** una de las más importantes. La hemoglobina es la proteína presente en los eritrocitos que permite el transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos y la eliminación del dióxido de carbono producido por el metabolismo celular (Guyton y Hall, 2016). Debido a su papel central en la formación de hemoglobina, el hierro es un elemento clave en el proceso de **eritropoyesis** y en el mantenimiento de la función hematológica normal.

El hierro presente en la dieta se encuentra principalmente en dos formas: **hierro hemo y hierro no hemo**. El hierro hemo se encuentra en alimentos de origen animal, como carnes rojas, aves y pescado, y se caracteriza por tener una alta biodisponibilidad, lo que significa que es absorbido con mayor eficiencia por el organismo. Por otro lado, el hierro no hemo se encuentra en alimentos de origen vegetal, como cereales, legumbres, verduras y algunos frutos secos. Esta forma de hierro presenta una menor biodisponibilidad, ya que su absorción puede verse influenciada por diversos componentes presentes en los alimentos (Gibson, 2005).

La **absorción del hierro** ocurre principalmente en el intestino delgado, especialmente en el duodeno. Durante este proceso, el hierro dietético debe ser transformado en una forma química que pueda ser transportada a través de las células intestinales hacia el torrente sanguíneo. Una vez absorbido, el hierro se une a una proteína transportadora llamada **transferrina**, la cual se encarga de distribuirlo a diferentes tejidos del organismo, incluyendo la médula ósea, donde se utiliza para la síntesis de hemoglobina durante la formación de eritrocitos (WHO, 2011).

El organismo humano mantiene un sistema altamente regulado para controlar el **metabolismo del hierro**, ya que tanto su deficiencia como su exceso pueden generar efectos negativos para la salud. Uno de los principales mecanismos de regulación del hierro es la acción de la **hepcidina**, una hormona producida en el hígado que regula la absorción intestinal del hierro y su liberación desde los depósitos corporales. Cuando los niveles de hierro en el organismo son elevados, la producción de hepcidina aumenta, lo que reduce la absorción de hierro en el intestino. Por el contrario, cuando las reservas de hierro son bajas, la producción de hepcidina disminuye, permitiendo una mayor absorción de hierro desde la dieta (Gibson, 2005).

El hierro absorbido puede ser utilizado inmediatamente para la síntesis de hemoglobina o almacenado en el organismo en forma de **ferritina y hemosiderina**, principalmente en el hígado, el bazo y la médula ósea. Estas reservas permiten mantener un suministro adecuado de hierro cuando la ingesta dietética es insuficiente o cuando el organismo presenta mayores requerimientos, como ocurre durante el crecimiento, el embarazo o la producción aumentada de eritrocitos.

Diversos factores dietéticos pueden influir en la **biodisponibilidad del hierro**. Algunos nutrientes favorecen su absorción, mientras que otros pueden inhibirla. Entre los factores que mejoran la absorción del hierro destaca la **vitamina C (ácido ascórbico)**, la cual facilita la conversión del hierro férrico a hierro ferroso, forma que se absorbe con mayor facilidad en el intestino. Por otro lado, compuestos como los **fitatos, taninos y polifenoles**,

presentes en algunos cereales integrales, legumbres y bebidas como el té o el café, pueden reducir la absorción del hierro no hemo (WHO, 2011).

El equilibrio del metabolismo del hierro es fundamental para prevenir alteraciones hematológicas. La **deficiencia de hierro** constituye una de las causas más frecuentes de anemia a nivel mundial. La anemia por deficiencia de hierro se caracteriza por una disminución en la producción de hemoglobina, lo que reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno hacia los tejidos. Esta condición puede provocar síntomas como fatiga, debilidad, disminución del rendimiento físico y alteraciones en la función cognitiva.

En contraste, el **exceso de hierro** también puede generar efectos adversos en el organismo, ya que este mineral puede participar en reacciones que producen radicales libres y generan daño oxidativo en los tejidos. Por esta razón, el organismo regula estrictamente la absorción y almacenamiento del hierro para mantener un equilibrio adecuado.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el metabolismo del hierro adquiere una relevancia particular debido a la interacción entre la disponibilidad de hierro y los procesos fisiológicos relacionados con la **eritropoyesis inducida por la hipoxia**. La menor disponibilidad de oxígeno en ambientes de altura estimula la producción de eritropoyetina, lo que incrementa la producción de eritrocitos como mecanismo de adaptación fisiológica (Gonzales, 2011). Este aumento en la producción de glóbulos rojos implica una mayor demanda de hierro para la síntesis de hemoglobina.

Por esta razón, un adecuado consumo de hierro en la dieta resulta esencial para mantener una producción eficiente de eritrocitos en poblaciones que viven en altitudes elevadas. La disponibilidad insuficiente de hierro puede limitar la capacidad del organismo para responder a la hipoxia mediante el aumento de la eritropoyesis. En contraste, dietas con alto contenido de hierro podrían favorecer la producción de hemoglobina y contribuir a la regulación de los niveles de eritrocitos en el organismo.

Asimismo, algunos estudios han sugerido que el estado nutricional y el consumo de hierro pueden influir en la aparición de **eritrocitosis excesiva**, condición caracterizada por niveles anormalmente elevados de hemoglobina y hematocrito en poblaciones de altura. Aunque la hipoxia constituye el principal estímulo para la producción de eritrocitos, la disponibilidad de hierro puede influir en la magnitud de la respuesta eritropoyética del organismo.

Desde la perspectiva de la salud pública y de la nutrición, el análisis del hierro dietético y de su metabolismo resulta fundamental para comprender la relación entre **alimentación, producción de eritrocitos y adaptación fisiológica a la altura**. La promoción de dietas equilibradas que incluyan alimentos ricos en hierro, tanto de origen animal como vegetal, puede contribuir a mantener un adecuado estado hematológico y a prevenir alteraciones relacionadas con la deficiencia o el exceso de este mineral.

En conclusión, el hierro dietético desempeña un papel central en el metabolismo del organismo y en la producción de células sanguíneas. Su adecuada absorción, transporte y almacenamiento son esenciales para la síntesis de hemoglobina y para el mantenimiento del transporte de oxígeno en el organismo. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, donde la hipoxia estimula la producción de eritrocitos, la disponibilidad adecuada de hierro en la dieta adquiere una importancia particular para el mantenimiento de la salud hematológica y para la adaptación fisiológica a las condiciones ambientales de la altura.

2.1.9 Interacción entre dieta, inflamación y metabolismo

La relación entre **dieta, inflamación y metabolismo** constituye un área de creciente interés en la investigación nutricional y médica, debido a su papel en la regulación de múltiples procesos fisiológicos y en el desarrollo de diversas enfermedades crónicas. La alimentación influye directamente en el metabolismo energético, en la función inmunológica y en los mecanismos inflamatorios del organismo. Estos procesos están estrechamente interrelacionados y pueden verse afectados tanto por la calidad como por la cantidad de los nutrientes consumidos (Calder et al., 2011).

La **inflamación** es una respuesta fisiológica del sistema inmunológico frente a estímulos potencialmente dañinos, como infecciones, lesiones o sustancias tóxicas. En condiciones normales, la inflamación constituye un mecanismo de defensa que permite al organismo eliminar agentes patógenos y reparar tejidos dañados. Sin embargo, cuando la inflamación se mantiene de forma persistente y de baja intensidad, puede generar alteraciones metabólicas y contribuir al desarrollo de enfermedades crónicas (Hotamisligil, 2006). Este fenómeno se conoce como **inflamación crónica de bajo grado** y se ha relacionado con la obesidad, la diabetes tipo 2, las enfermedades cardiovasculares y otros trastornos metabólicos.

La dieta desempeña un papel importante en la regulación de los procesos inflamatorios del organismo. Algunos patrones alimentarios pueden promover respuestas inflamatorias, mientras que otros pueden ejercer efectos antiinflamatorios. Las dietas caracterizadas por un elevado consumo de **alimentos ultraprocesados, grasas saturadas, grasas trans y azúcares refinados** se han asociado con un aumento de los marcadores inflamatorios en el organismo. Estos alimentos pueden estimular la producción de citocinas proinflamatorias, moléculas que participan en la activación del sistema inmunológico y en la regulación de la inflamación (Calder et al., 2011).

Por el contrario, ciertos alimentos contienen **compuestos bioactivos con propiedades antiinflamatorias**, los cuales pueden contribuir a reducir la inflamación sistémica y a mejorar la salud metabólica. Entre estos compuestos se encuentran los ácidos grasos omega-3, presentes en pescados y algunos aceites vegetales, así como diversos antioxidantes y polifenoles presentes en frutas, verduras, legumbres y cereales integrales. Estos nutrientes pueden modular la respuesta inflamatoria del organismo y proteger las células frente al daño oxidativo.

La **obesidad** constituye uno de los ejemplos más claros de la interacción entre dieta, inflamación y metabolismo. El exceso de tejido adiposo, especialmente cuando se acumula en la región abdominal, se asocia con la liberación de diversas sustancias inflamatorias conocidas como **adipocinas**, entre las cuales se incluyen la leptina, el factor de necrosis

tumoral alfa (TNF- α) y la interleucina-6 (IL-6). Estas moléculas pueden generar un estado de inflamación crónica de bajo grado que afecta el metabolismo de la glucosa, los lípidos y otros procesos fisiológicos (Hotamisligil, 2006).

Este estado inflamatorio puede alterar la sensibilidad de las células a la insulina, favoreciendo el desarrollo de **resistencia a la insulina**, una condición metabólica que se asocia con la aparición de diabetes mellitus tipo 2. Además, la inflamación crónica puede contribuir al desarrollo de dislipidemia, hipertensión arterial y otras alteraciones metabólicas que incrementan el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

La interacción entre dieta e inflamación también puede influir en el **metabolismo del hierro** y en la regulación de la eritropoyesis. Durante los procesos inflamatorios, el organismo puede aumentar la producción de **hepcidina**, una hormona que regula la absorción y distribución del hierro en el cuerpo. El incremento de la hepcidina reduce la liberación de hierro desde los depósitos corporales y disminuye su absorción intestinal, lo que puede limitar la disponibilidad de hierro para la síntesis de hemoglobina (WHO, 2011). Este mecanismo forma parte de la respuesta del organismo frente a infecciones, pero cuando la inflamación se vuelve crónica puede afectar la producción de eritrocitos y contribuir al desarrollo de anemia asociada a procesos inflamatorios.

En las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la interacción entre dieta, inflamación y metabolismo adquiere características particulares debido a la presencia de **hipoxia hipobárica**, condición que puede generar adaptaciones fisiológicas en diversos sistemas del organismo. La exposición prolongada a niveles reducidos de oxígeno puede influir en el metabolismo energético, en la función cardiovascular y en la regulación de la eritropoyesis (Gonzales, 2011).

Cuando estas condiciones se combinan con alteraciones en la dieta o con la presencia de obesidad, pueden generarse cambios metabólicos que afectan la **oxigenación tisular** y **la producción de eritrocitos**. Por ejemplo, el exceso de grasa corporal puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede generar

estados de hipoxia tisular. Esta situación puede estimular la producción de eritropoyetina y aumentar la producción de eritrocitos como mecanismo compensatorio.

Además, el estado inflamatorio asociado con la obesidad puede influir en la regulación del metabolismo del hierro y en la disponibilidad de este mineral para la síntesis de hemoglobina. La inflamación crónica puede alterar los mecanismos de regulación del hierro, afectando el equilibrio entre su absorción, almacenamiento y utilización en el organismo.

Desde la perspectiva de la nutrición y de la salud pública, comprender la interacción entre dieta, inflamación y metabolismo resulta fundamental para desarrollar **estrategias de prevención y promoción de la salud**. La adopción de patrones alimentarios saludables que incluyan alimentos ricos en nutrientes, antioxidantes y compuestos antiinflamatorios puede contribuir a reducir la inflamación sistémica y a mejorar el equilibrio metabólico del organismo.

En este sentido, diversas recomendaciones nutricionales enfatizan la importancia de promover dietas basadas en **alimentos naturales y mínimamente procesados**, como frutas, verduras, legumbres, cereales integrales y fuentes de proteínas de alta calidad. Estas dietas pueden contribuir a mejorar la regulación metabólica y a reducir el riesgo de enfermedades crónicas asociadas con procesos inflamatorios.

En conclusión, la interacción entre dieta, inflamación y metabolismo constituye un componente clave en la regulación de la salud y en el desarrollo de diversas enfermedades crónicas. Los patrones alimentarios influyen en la activación de procesos inflamatorios y en el funcionamiento del metabolismo energético, lo que puede afectar múltiples sistemas del organismo. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, comprender estas interacciones resulta particularmente relevante para analizar cómo la nutrición puede influir en la adaptación fisiológica a la hipoxia y en la regulación de procesos hematológicos como la eritropoyesis.

2.2 Nociones básicas de la variable

El **consumo alimentario** constituye una variable fundamental en el estudio de la nutrición humana, ya que permite analizar la cantidad, calidad y frecuencia con que los individuos o poblaciones ingieren alimentos y nutrientes. A través de la evaluación del consumo alimentario es posible comprender cómo la dieta contribuye al aporte de energía y nutrientes esenciales necesarios para el mantenimiento de las funciones fisiológicas del organismo. En el contexto de la salud pública y de la investigación nutricional, el análisis del consumo alimentario permite identificar patrones dietéticos, deficiencias nutricionales y factores de riesgo asociados con diversas enfermedades (Gibson, 2005).

Desde una perspectiva científica, el consumo alimentario se estudia mediante diversos indicadores que permiten evaluar la **ingesta de alimentos y nutrientes**, así como su relación con el estado nutricional y la salud de los individuos. Estos indicadores incluyen métodos de evaluación dietética, análisis de frecuencia de consumo de alimentos, estimación de la ingesta energética y medición de la calidad de la dieta. La utilización de estos instrumentos permite obtener información detallada sobre los hábitos alimentarios y sobre el aporte de macronutrientes y micronutrientes en la dieta.

En el ámbito de la investigación nutricional, el estudio del consumo alimentario adquiere una relevancia especial cuando se analiza su relación con procesos fisiológicos específicos, como el **metabolismo energético, la regulación hormonal y la producción de células sanguíneas**. En el caso de la eritropoyesis, la dieta proporciona nutrientes esenciales como hierro, proteínas, ácido fólico y vitamina B12, los cuales participan en la síntesis de hemoglobina y en la formación de eritrocitos. La disponibilidad de estos nutrientes en la dieta puede influir en la capacidad del organismo para producir glóbulos rojos y para mantener un adecuado transporte de oxígeno hacia los tejidos (WHO, 2011).

En las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el análisis del consumo alimentario adquiere una importancia particular debido a las condiciones ambientales asociadas con la **hipoxia hipobárica**. La disminución de la presión parcial de oxígeno en

estas regiones genera adaptaciones fisiológicas destinadas a mejorar la oxigenación de los tejidos, entre las cuales destaca el aumento en la producción de eritrocitos. Este proceso implica una mayor demanda de nutrientes involucrados en la síntesis de hemoglobina y en la regulación del metabolismo del hierro (Gonzales, 2011).

En este contexto, el estudio del consumo alimentario permite analizar cómo los **patrones dietéticos y la ingesta de nutrientes específicos** pueden influir en la regulación de la eritropoyesis y en la aparición de condiciones como la eritrocitosis excesiva. La identificación de alimentos ricos en nutrientes relacionados con la formación de eritrocitos, así como la evaluación de la frecuencia con que estos alimentos son consumidos, proporciona información valiosa para comprender la relación entre dieta y salud hematológica en poblaciones de altura.

Además, el consumo alimentario también puede influir en otros factores fisiológicos relacionados con la **oxigenación tisular y el metabolismo energético**, como el estado nutricional y la composición corporal. Dietas hipercalóricas o desequilibradas pueden favorecer el desarrollo de sobrepeso u obesidad, condiciones que pueden afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno. Estas alteraciones pueden generar estados de hipoxia tisular que estimulan la producción de eritropoyetina y, en consecuencia, la formación de eritrocitos.

Por otro lado, los cambios en los patrones alimentarios asociados con la **transición nutricional** también pueden influir en la calidad de la dieta y en la ingesta de nutrientes esenciales. La disminución del consumo de alimentos tradicionales ricos en micronutrientes y el aumento del consumo de alimentos procesados pueden generar desequilibrios nutricionales que afectan el metabolismo del hierro y otros procesos fisiológicos relacionados con la eritropoyesis.

Desde la perspectiva metodológica, el análisis del consumo alimentario requiere la utilización de **instrumentos de evaluación dietética** que permitan estimar de manera precisa la ingesta de alimentos y nutrientes. Entre los métodos más utilizados se encuentran

el recordatorio de 24 horas, los cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos y los registros dietéticos. Estos instrumentos permiten recopilar información sobre la alimentación habitual de los individuos y analizar su relación con variables fisiológicas y clínicas.

En síntesis, el consumo alimentario constituye una variable clave para comprender la relación entre **alimentación, metabolismo y salud**. Su análisis permite identificar los nutrientes presentes en la dieta, evaluar la calidad de la alimentación y analizar su impacto en procesos fisiológicos importantes como la eritropoyesis. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, donde la hipoxia ambiental genera adaptaciones fisiológicas específicas, el estudio del consumo alimentario proporciona información fundamental para comprender cómo la dieta puede influir en la regulación de la producción de eritrocitos y en el mantenimiento de la salud hematológica.

2.2.1 Métodos de evaluación del consumo alimentario

La **evaluación del consumo alimentario** constituye un componente esencial en la investigación nutricional, ya que permite analizar la cantidad y calidad de los alimentos ingeridos por individuos o poblaciones durante un periodo determinado. A través de estos métodos es posible estimar la ingesta de energía, macronutrientes y micronutrientes, así como identificar patrones dietéticos que pueden influir en el estado nutricional y en la aparición de diversas enfermedades (Gibson, 2005). En el ámbito de la epidemiología nutricional, la medición del consumo alimentario permite establecer relaciones entre la dieta y distintos indicadores de salud.

Los métodos de evaluación dietética se clasifican generalmente en **métodos retrospectivos y métodos prospectivos**, dependiendo de la forma en que se recolecta la información sobre la ingesta alimentaria. Los métodos retrospectivos se basan en la memoria del individuo para describir los alimentos consumidos en un periodo previo, mientras que los métodos prospectivos registran los alimentos consumidos en tiempo real durante un periodo determinado. Cada uno de estos métodos presenta ventajas y limitaciones que deben considerarse al momento de diseñar un estudio nutricional.

Uno de los métodos más utilizados en la evaluación del consumo alimentario es el **recordatorio de 24 horas**. Este método consiste en recopilar información detallada sobre todos los alimentos y bebidas consumidos por una persona durante las 24 horas anteriores a la entrevista. Durante la aplicación del recordatorio, el entrevistador solicita al participante que describa cada alimento ingerido, incluyendo las cantidades, las formas de preparación y los horarios de consumo. Este método permite obtener una estimación relativamente precisa de la ingesta diaria de alimentos y nutrientes (Thompson y Subar, 2013).

El recordatorio de 24 horas presenta diversas ventajas, entre las que destacan su **rapidez de aplicación y su bajo costo**. Además, permite obtener información detallada sobre la dieta reciente del individuo. Sin embargo, este método también presenta algunas limitaciones, principalmente relacionadas con la dependencia de la memoria del participante y con la variabilidad diaria del consumo alimentario. Por esta razón, en muchos estudios se recomienda aplicar múltiples recordatorios en diferentes días para obtener una estimación más representativa de la dieta habitual.

Otro método ampliamente utilizado es el **cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos (CFCA)**. Este instrumento permite evaluar la frecuencia con la que se consumen determinados alimentos o grupos de alimentos durante un periodo prolongado, generalmente semanas o meses. En este tipo de cuestionario, los participantes indican con qué frecuencia consumen cada alimento incluido en una lista predefinida, utilizando categorías como diario, semanal, mensual o nunca (Gibson, 2005).

Los cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos son particularmente útiles en **estudios epidemiológicos**, ya que permiten identificar patrones dietéticos y analizar la relación entre el consumo de ciertos alimentos y el riesgo de enfermedades crónicas. Además, este método permite evaluar la ingesta habitual de alimentos en poblaciones grandes con relativa facilidad. Sin embargo, la precisión de este método puede verse limitada por la capacidad del individuo para recordar la frecuencia de consumo de alimentos durante periodos prolongados.

El **registro dietético** constituye otro método importante para la evaluación del consumo alimentario. En este caso, los participantes registran de manera detallada todos los alimentos y bebidas que consumen durante un periodo específico, generalmente entre tres y siete días. Este registro puede incluir información sobre las cantidades de alimentos consumidos, las formas de preparación y los horarios de las comidas (Thompson y Subar, 2013).

Una de las principales ventajas del registro dietético es que permite obtener información **directa y detallada sobre la ingesta alimentaria**, ya que los alimentos se registran en el momento en que son consumidos. Sin embargo, este método requiere un alto nivel de compromiso por parte de los participantes y puede resultar complejo en estudios con grandes poblaciones. Además, el hecho de registrar los alimentos puede modificar temporalmente el comportamiento alimentario de los individuos.

Otro método utilizado en estudios nutricionales es la **historia dietética**, que consiste en una entrevista detallada destinada a evaluar los hábitos alimentarios habituales de una persona durante un periodo prolongado. Este método combina información sobre la frecuencia de consumo de alimentos, los patrones de alimentación y las prácticas culinarias del individuo. La historia dietética permite obtener una visión amplia de los hábitos alimentarios, aunque su aplicación suele requerir mayor tiempo y experiencia por parte del entrevistador.

En los últimos años también se han desarrollado **herramientas tecnológicas** para la evaluación del consumo alimentario, como aplicaciones móviles, cuestionarios digitales y sistemas de registro electrónico de alimentos. Estas herramientas permiten facilitar la recolección de datos y mejorar la precisión de las estimaciones dietéticas. Además, el uso de tecnologías digitales puede reducir los errores asociados con la memoria y facilitar el análisis de la información nutricional.

La evaluación del consumo alimentario suele complementarse con el uso de **tablas de composición de alimentos**, las cuales permiten estimar el contenido de energía y

nutrientes presentes en los alimentos consumidos. Estas tablas contienen información sobre la composición nutricional de diferentes alimentos y se utilizan para calcular la ingesta de macronutrientes y micronutrientes a partir de los datos recopilados durante la evaluación dietética.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la evaluación del consumo alimentario adquiere una importancia particular debido a la necesidad de analizar la relación entre la dieta y los procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la hipoxia. El análisis de la ingesta de nutrientes como el hierro, las proteínas y las vitaminas del complejo B resulta fundamental para comprender cómo la alimentación puede influir en la **eritropoyesis y en la producción de hemoglobina** (Gonzales, 2011).

Asimismo, el estudio del consumo alimentario permite identificar patrones dietéticos característicos de las comunidades altoandinas, así como los cambios en los hábitos alimentarios asociados con la transición nutricional. Esta información resulta valiosa para comprender la relación entre dieta, estado nutricional y condiciones de salud en poblaciones que viven en condiciones ambientales particulares.

Desde la perspectiva de la investigación científica y de la salud pública, la selección del método adecuado para evaluar el consumo alimentario depende de diversos factores, como el **objetivo del estudio, el tamaño de la población y los recursos disponibles**. En muchos casos, la combinación de diferentes métodos de evaluación dietética puede proporcionar una estimación más completa y precisa de la ingesta alimentaria.

En conclusión, los métodos de evaluación del consumo alimentario constituyen herramientas fundamentales para el análisis de los hábitos dietéticos y su relación con la salud. Instrumentos como el recordatorio de 24 horas, los cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos, los registros dietéticos y la historia dietética permiten estimar la ingesta de alimentos y nutrientes en individuos y poblaciones. En estudios relacionados con la nutrición y la eritropoyesis en poblaciones de altura, estos métodos proporcionan

información esencial para comprender cómo la dieta puede influir en los procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la hipoxia y con la producción de eritrocitos.

2.2.2 Recordatorio de 24 horas

El **recordatorio de 24 horas** es uno de los métodos más utilizados en la evaluación del **consumo alimentario** dentro de la investigación nutricional y epidemiológica. Este método consiste en una entrevista estructurada en la que el participante describe detalladamente todos los alimentos y bebidas que consumió durante las **24 horas previas** al momento de la entrevista. Su principal objetivo es estimar la ingesta dietética reciente del individuo, incluyendo los tipos de alimentos consumidos, las cantidades ingeridas, las formas de preparación y los horarios de consumo (Gibson, 2005).

Este método se basa en la capacidad del entrevistado para recordar con precisión los alimentos ingeridos durante el día anterior. Para facilitar la recopilación de la información, el entrevistador suele utilizar una **secuencia estructurada de preguntas** que permite reconstruir cronológicamente las comidas y bebidas consumidas a lo largo del día. Generalmente se indaga sobre las comidas principales (desayuno, almuerzo y cena), así como sobre colaciones o refrigerios consumidos entre las comidas.

El procedimiento del recordatorio de 24 horas suele aplicarse mediante un **enfoque de múltiples pasos**, diseñado para mejorar la precisión del recuerdo alimentario. En primer lugar, se solicita al participante que mencione todos los alimentos consumidos durante el día anterior. Posteriormente, el entrevistador realiza preguntas adicionales para obtener información más detallada sobre las porciones, los ingredientes utilizados y los métodos de preparación. Finalmente, se revisa toda la información registrada para verificar que no se haya omitido ningún alimento o bebida (Thompson y Subar, 2013).

Una de las principales ventajas del recordatorio de 24 horas es que permite obtener información relativamente detallada sobre la **ingesta alimentaria reciente**, lo que facilita la estimación de la cantidad de energía y nutrientes consumidos. Además, este método

presenta un **bajo costo y una rápida aplicación**, lo que lo convierte en una herramienta útil para estudios epidemiológicos y encuestas nutricionales a gran escala.

Otra ventaja importante es que este método no requiere que el participante posea conocimientos nutricionales específicos, ya que el entrevistador puede ayudar a estimar las cantidades consumidas mediante el uso de **utensilios de referencia, fotografías de porciones o modelos de alimentos**. Estos recursos permiten mejorar la precisión en la estimación de las cantidades de alimentos ingeridos.

Sin embargo, el recordatorio de 24 horas también presenta algunas **limitaciones metodológicas**. Una de las principales limitaciones es la dependencia de la memoria del participante, lo que puede generar errores en el recuerdo de los alimentos consumidos. Algunas personas pueden olvidar ciertos alimentos, especialmente aquellos consumidos en pequeñas cantidades o entre las comidas principales. Además, el participante puede subestimar o sobreestimar las porciones ingeridas.

Otra limitación importante es que el recordatorio de 24 horas refleja únicamente la **ingesta alimentaria de un día específico**, lo que puede no representar el patrón dietético habitual del individuo. La alimentación puede variar considerablemente de un día a otro debido a factores como el día de la semana, las actividades laborales o las celebraciones sociales. Por esta razón, en estudios nutricionales es común aplicar **múltiples recordatorios de 24 horas en diferentes días**, incluyendo días laborables y fines de semana, para obtener una estimación más representativa de la dieta habitual.

A pesar de estas limitaciones, el recordatorio de 24 horas sigue siendo uno de los métodos más utilizados en la evaluación dietética debido a su **flexibilidad y aplicabilidad en diferentes contextos poblacionales**. Este método ha sido ampliamente utilizado en encuestas nacionales de nutrición y en estudios epidemiológicos destinados a analizar la relación entre la dieta y diversas condiciones de salud.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el uso del recordatorio de 24 horas permite obtener información relevante sobre los **patrones de**

consumo alimentario y sobre la ingesta de nutrientes asociados con procesos fisiológicos importantes, como la eritropoyesis. A través de este método es posible evaluar la ingesta de nutrientes como hierro, proteínas, ácido fólico y vitamina B12, los cuales participan en la síntesis de hemoglobina y en la formación de eritrocitos (WHO, 2011).

Asimismo, el recordatorio de 24 horas permite identificar el consumo de **alimentos tradicionales de la dieta andina**, como tubérculos, cereales andinos, legumbres y carnes de origen animal, los cuales pueden contribuir al aporte de nutrientes esenciales para el metabolismo energético y para la producción de células sanguíneas. El análisis de estos patrones alimentarios resulta fundamental para comprender la relación entre dieta, estado nutricional y salud en poblaciones de altura.

Desde la perspectiva de la investigación nutricional, los datos obtenidos mediante el recordatorio de 24 horas suelen analizarse utilizando **tablas de composición de alimentos**, las cuales permiten estimar el contenido de energía y nutrientes presentes en los alimentos consumidos. Este análisis facilita la identificación de deficiencias o excesos en la ingesta de determinados nutrientes y permite evaluar la calidad de la dieta.

En conclusión, el recordatorio de 24 horas constituye una herramienta fundamental para la evaluación del consumo alimentario en estudios nutricionales. Este método permite recopilar información detallada sobre los alimentos consumidos durante el día anterior y estimar la ingesta de energía y nutrientes. A pesar de algunas limitaciones relacionadas con la memoria y la variabilidad diaria de la dieta, su facilidad de aplicación y su utilidad en estudios poblacionales lo convierten en un instrumento valioso para analizar la relación entre alimentación, estado nutricional y procesos fisiológicos relevantes, como la eritropoyesis en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

2.2.3 Cuestionario de frecuencia de consumo alimentario

El **cuestionario de frecuencia de consumo alimentario (CFCA)** es un instrumento ampliamente utilizado en la investigación nutricional para evaluar los **patrones dietéticos habituales** de individuos o poblaciones durante un periodo determinado. Este método

permite estimar la frecuencia con la que se consumen diferentes alimentos o grupos de alimentos, lo que facilita el análisis de la dieta habitual y la identificación de patrones alimentarios asociados con el estado nutricional y con diversas condiciones de salud (Gibson, 2005).

A diferencia del recordatorio de 24 horas, que evalúa la ingesta alimentaria en un periodo corto, el cuestionario de frecuencia de consumo alimentario permite analizar la **ingesta habitual a lo largo del tiempo**, generalmente durante semanas, meses o incluso un año. Esto lo convierte en una herramienta particularmente útil para estudios epidemiológicos que buscan establecer relaciones entre la dieta y el desarrollo de enfermedades crónicas o alteraciones metabólicas (Thompson y Subar, 2013).

El cuestionario consiste en una **lista estructurada de alimentos o grupos de alimentos** que son relevantes para la población en estudio. Para cada alimento incluido en la lista, el participante debe indicar con qué frecuencia lo consume dentro de un periodo de referencia determinado. Las opciones de respuesta suelen incluir categorías como: varias veces al día, una vez al día, varias veces por semana, una vez por semana, una vez al mes o nunca. En algunos cuestionarios también se solicita al participante que indique el tamaño de la porción consumida con mayor frecuencia.

El diseño del cuestionario de frecuencia de consumo alimentario debe adaptarse a las **características culturales y alimentarias de la población estudiada**. Esto implica seleccionar alimentos que sean representativos de la dieta habitual de la comunidad y que permitan evaluar adecuadamente la ingesta de nutrientes relevantes para el objetivo de la investigación. Por ejemplo, en estudios realizados en poblaciones altoandinas es importante incluir alimentos tradicionales como tubérculos, cereales andinos, legumbres y productos de origen animal característicos de la dieta local.

Una de las principales ventajas del cuestionario de frecuencia de consumo alimentario es su capacidad para identificar **patrones dietéticos a largo plazo**, lo que resulta fundamental para analizar la relación entre la dieta y el desarrollo de enfermedades crónicas.

Además, este método permite evaluar la ingesta de determinados nutrientes a partir de la frecuencia de consumo de alimentos que los contienen, lo que facilita el estudio de asociaciones entre dieta y salud.

Otra ventaja importante del CFCA es que puede aplicarse a **grandes poblaciones** con relativa facilidad, lo que lo convierte en una herramienta útil en estudios epidemiológicos y encuestas de salud pública. Su aplicación puede realizarse mediante entrevistas presenciales, cuestionarios impresos o plataformas digitales, lo que permite adaptarlo a diferentes contextos de investigación.

Sin embargo, este método también presenta algunas **limitaciones metodológicas**. Una de las principales limitaciones es que depende de la capacidad del participante para recordar con precisión la frecuencia con que consume determinados alimentos durante periodos prolongados. Esto puede generar errores de recuerdo o estimaciones inexactas, especialmente cuando se trata de alimentos que se consumen de manera irregular.

Además, los cuestionarios de frecuencia de consumo alimentario generalmente proporcionan información limitada sobre **las cantidades exactas de alimentos consumidos**, lo que puede dificultar la estimación precisa de la ingesta de nutrientes. Aunque algunos cuestionarios incluyen preguntas sobre el tamaño de las porciones, la precisión de estas estimaciones puede variar entre individuos.

A pesar de estas limitaciones, el cuestionario de frecuencia de consumo alimentario sigue siendo uno de los métodos más utilizados en estudios de nutrición poblacional debido a su capacidad para evaluar **tendencias dietéticas y hábitos alimentarios habituales**. La información obtenida mediante este instrumento puede combinarse con tablas de composición de alimentos para estimar la ingesta promedio de nutrientes en la población.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el cuestionario de frecuencia de consumo alimentario puede proporcionar información valiosa sobre la ingesta habitual de alimentos ricos en nutrientes relacionados con la **eritropoyesis**, como hierro, proteínas, ácido fólico y vitamina B12. Estos nutrientes desempeñan un papel

fundamental en la síntesis de hemoglobina y en la formación de eritrocitos, procesos que adquieren una mayor relevancia en ambientes donde la hipoxia estimula la producción de glóbulos rojos (Gonzales, 2011).

Asimismo, el uso de este instrumento permite analizar cómo los **cambios en los patrones alimentarios**, asociados con la transición nutricional, pueden influir en la calidad de la dieta y en la disponibilidad de nutrientes esenciales. El incremento en el consumo de alimentos procesados y la reducción del consumo de alimentos tradicionales pueden modificar la ingesta de micronutrientes importantes para la salud hematológica.

Desde la perspectiva de la investigación científica, el cuestionario de frecuencia de consumo alimentario también permite evaluar la **diversidad alimentaria**, es decir, la variedad de alimentos consumidos por una población. Una dieta diversa suele asociarse con un mayor aporte de nutrientes esenciales y con mejores indicadores de salud.

En conclusión, el cuestionario de frecuencia de consumo alimentario constituye una herramienta fundamental para el estudio de los hábitos dietéticos y los patrones de alimentación en poblaciones humanas. Su capacidad para evaluar la frecuencia de consumo de alimentos durante periodos prolongados lo convierte en un instrumento valioso para analizar la relación entre dieta, estado nutricional y salud. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, este método permite identificar patrones alimentarios que pueden influir en procesos fisiológicos relevantes, como la eritropoyesis y la adaptación del organismo a la hipoxia ambiental.

2.2.4 Evaluación de la adecuación nutricional

La **evaluación de la adecuación nutricional** es un proceso mediante el cual se analiza si la ingesta de energía y nutrientes de un individuo o población es suficiente para satisfacer los **requerimientos nutricionales necesarios para mantener la salud y el funcionamiento fisiológico del organismo**. Este análisis permite determinar si la dieta proporciona cantidades adecuadas de macronutrientes y micronutrientes en relación con las

recomendaciones establecidas por organismos internacionales y autoridades de salud (FAO/OMS, 2004).

El objetivo principal de la evaluación de la adecuación nutricional es identificar posibles **deficiencias o excesos en la ingesta de nutrientes**, los cuales pueden afectar el estado nutricional y aumentar el riesgo de diversas enfermedades. Una dieta adecuada debe proporcionar cantidades suficientes de energía, proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales para cubrir las necesidades fisiológicas del organismo en función de factores como la edad, el sexo, el nivel de actividad física y las condiciones fisiológicas particulares de cada individuo.

Para evaluar la adecuación nutricional es necesario contar con información detallada sobre el **consumo alimentario**, obtenida mediante métodos de evaluación dietética como el recordatorio de 24 horas, los cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos o los registros dietéticos. Una vez recopilada esta información, se procede a estimar la cantidad de nutrientes ingeridos mediante el uso de **tablas de composición de alimentos**, las cuales permiten conocer el contenido nutricional de los alimentos consumidos (Gibson, 2005).

Posteriormente, los valores estimados de ingesta de nutrientes se comparan con los **requerimientos nutricionales de referencia**, los cuales representan las cantidades de nutrientes necesarias para cubrir las necesidades de la mayoría de las personas sanas dentro de un grupo poblacional específico. Estos valores de referencia incluyen indicadores como la ingesta dietética recomendada (RDA), la ingesta adecuada (AI) y el requerimiento promedio estimado (EAR), los cuales son utilizados en la evaluación nutricional para determinar la suficiencia de la dieta (FAO/OMS, 2004).

Uno de los indicadores más utilizados en la evaluación de la adecuación nutricional es el **porcentaje de adecuación**, que se calcula comparando la ingesta observada de un nutriente con el requerimiento recomendado para ese nutriente. Este indicador permite determinar si la ingesta de un nutriente es inferior, adecuada o superior a las recomendaciones establecidas. En general, valores cercanos al 100 % indican que la ingesta

de nutrientes es adecuada, mientras que valores significativamente inferiores o superiores pueden sugerir deficiencia o exceso nutricional.

La evaluación de la adecuación nutricional también puede realizarse mediante el análisis de la **densidad nutricional de la dieta**, que se refiere a la cantidad de nutrientes presentes en relación con el contenido energético de los alimentos consumidos. Una dieta con alta densidad nutricional proporciona una mayor cantidad de vitaminas y minerales por unidad de energía, lo que contribuye a cubrir los requerimientos nutricionales sin generar un consumo excesivo de calorías.

Otro enfoque utilizado en la evaluación nutricional es el análisis de **patrones dietéticos y calidad de la dieta**, que permite identificar si la alimentación incluye una variedad adecuada de alimentos provenientes de diferentes grupos alimentarios. Dietas que incluyen frutas, verduras, cereales integrales, legumbres, proteínas de alta calidad y grasas saludables suelen asociarse con una mejor adecuación nutricional y con menores riesgos para la salud.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la evaluación de la adecuación nutricional adquiere una importancia particular debido a las condiciones fisiológicas asociadas con la **hipoxia hipobárica**. La disminución de la disponibilidad de oxígeno en el ambiente puede generar adaptaciones metabólicas que incrementan la demanda de ciertos nutrientes relacionados con el transporte de oxígeno y la producción de energía (Gonzales, 2011).

Entre los nutrientes de especial importancia en estas poblaciones se encuentran el **hierro, las proteínas, el ácido fólico y la vitamina B12**, los cuales participan en la síntesis de hemoglobina y en la formación de eritrocitos. La evaluación de la adecuación de estos nutrientes permite determinar si la dieta proporciona los elementos necesarios para mantener una adecuada producción de glóbulos rojos y para favorecer la adaptación fisiológica del organismo a las condiciones de altura.

Además, la evaluación nutricional permite identificar cambios en los patrones alimentarios asociados con la **transición nutricional**, fenómeno que ha modificado los hábitos alimentarios de muchas poblaciones andinas. El aumento del consumo de alimentos procesados y la reducción de alimentos tradicionales ricos en nutrientes pueden generar desequilibrios nutricionales que afectan el estado de salud de las comunidades.

Desde la perspectiva de la salud pública, la evaluación de la adecuación nutricional constituye una herramienta fundamental para diseñar **programas de intervención nutricional** orientados a mejorar la calidad de la dieta y prevenir problemas de malnutrición. Los resultados de estos análisis permiten identificar grupos de riesgo y desarrollar estrategias dirigidas a promover el consumo de alimentos ricos en nutrientes esenciales.

Asimismo, en el ámbito de la investigación científica, la evaluación de la adecuación nutricional permite analizar la relación entre la dieta y diversos **indicadores de salud**, incluyendo el estado nutricional, la composición corporal y los parámetros hematológicos. Esta información resulta especialmente relevante en estudios que buscan comprender la relación entre el consumo alimentario y procesos fisiológicos como la eritropoyesis.

En conclusión, la evaluación de la adecuación nutricional constituye un proceso fundamental para determinar si la dieta satisface las necesidades de energía y nutrientes del organismo. Mediante la comparación entre la ingesta observada y los requerimientos nutricionales de referencia, es posible identificar deficiencias o excesos nutricionales que pueden afectar la salud. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, este análisis resulta particularmente importante para comprender cómo la dieta puede influir en la producción de eritrocitos y en la adaptación fisiológica del organismo a las condiciones de hipoxia ambiental.

2.2.5 Índice de calidad de la dieta

El **índice de calidad de la dieta (ICD)** es un indicador utilizado en la investigación nutricional para evaluar el grado en que los hábitos alimentarios de una persona o población se ajustan a las **recomendaciones nutricionales establecidas para una alimentación**

saludable. Este índice permite analizar la calidad global de la dieta considerando la variedad, el equilibrio y la adecuación de los alimentos consumidos, más allá de la simple cantidad de nutrientes ingeridos (Gibson, 2005).

La calidad de la dieta se relaciona con la capacidad de la alimentación para proporcionar los nutrientes necesarios para el mantenimiento de la salud y la prevención de enfermedades. Una dieta de alta calidad suele caracterizarse por la presencia equilibrada de **frutas, verduras, cereales integrales, legumbres, proteínas de buena calidad y grasas saludables**, así como por una ingesta moderada de azúcares, sodio y grasas saturadas. En contraste, dietas con alto consumo de alimentos ultraprocesados, bebidas azucaradas y productos con elevada densidad energética suelen considerarse de baja calidad nutricional (WHO, 2020).

El índice de calidad de la dieta se construye a partir de diferentes **componentes o criterios de evaluación**, que pueden incluir la diversidad alimentaria, la adecuación de nutrientes esenciales y la moderación en el consumo de alimentos considerados poco saludables. Cada componente del índice recibe una puntuación determinada, y la suma de estas puntuaciones permite obtener un valor global que refleja el nivel de calidad de la dieta.

Uno de los enfoques más utilizados para evaluar la calidad de la dieta es el análisis de la **diversidad alimentaria**, que se refiere al número de diferentes grupos de alimentos consumidos durante un periodo determinado. Una mayor diversidad alimentaria se asocia generalmente con una mayor probabilidad de cubrir los requerimientos de micronutrientes esenciales, lo que contribuye a mejorar el estado nutricional de los individuos (FAO, 2013).

Otro componente importante del índice de calidad de la dieta es la **proporción de macronutrientes en la alimentación**, es decir, el equilibrio entre carbohidratos, proteínas y grasas en la dieta. Una distribución adecuada de estos macronutrientes permite mantener el equilibrio energético del organismo y favorece el funcionamiento adecuado de los procesos metabólicos.

Asimismo, el índice de calidad de la dieta también puede considerar el **consumo de alimentos protectores para la salud**, como frutas, verduras y alimentos ricos en fibra, los cuales se asocian con un menor riesgo de enfermedades crónicas. Estos alimentos aportan vitaminas, minerales, antioxidantes y compuestos bioactivos que contribuyen a la regulación del metabolismo y a la reducción de procesos inflamatorios.

Por otro lado, el índice también evalúa la **moderación en el consumo de alimentos asociados con riesgos para la salud**, como productos con alto contenido de grasas saturadas, azúcares añadidos y sodio. Un consumo excesivo de estos componentes dietéticos se ha relacionado con el desarrollo de obesidad, diabetes tipo 2, hipertensión arterial y enfermedades cardiovasculares (WHO, 2020).

En el ámbito de la investigación epidemiológica, el índice de calidad de la dieta se utiliza para analizar la relación entre los **patrones alimentarios y diferentes indicadores de salud**, incluyendo el estado nutricional, el riesgo de enfermedades crónicas y la mortalidad. Estudios realizados en diversas poblaciones han demostrado que dietas con mayor calidad nutricional se asocian con mejores indicadores de salud y con una menor incidencia de enfermedades metabólicas.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, el análisis de la calidad de la dieta resulta particularmente relevante debido a la relación entre la alimentación, el metabolismo energético y los procesos fisiológicos asociados a la **adaptación a la hipoxia ambiental**. Una dieta de buena calidad puede contribuir a proporcionar los nutrientes necesarios para mantener una adecuada producción de eritrocitos y favorecer el transporte eficiente de oxígeno hacia los tejidos (Gonzales, 2011).

Por ejemplo, dietas que incluyen alimentos ricos en **hierro, proteínas y vitaminas del complejo B** pueden favorecer la síntesis de hemoglobina y la producción de eritrocitos, procesos esenciales para el transporte de oxígeno en poblaciones expuestas a condiciones de hipoxia. En cambio, dietas de baja calidad nutricional pueden generar deficiencias de micronutrientes que afectan el metabolismo del hierro y la función hematológica.

Además, la calidad de la dieta también puede influir en el **estado nutricional y en la composición corporal** de las poblaciones de altura. Dietas con alto contenido de alimentos ultraprocesados y calorías vacías pueden contribuir al desarrollo de sobrepeso u obesidad, condiciones que pueden afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno.

Desde la perspectiva de la salud pública, el índice de calidad de la dieta constituye una herramienta útil para evaluar los **hábitos alimentarios de la población** y para identificar áreas de intervención nutricional. Los resultados obtenidos mediante este índice pueden utilizarse para diseñar estrategias destinadas a mejorar la calidad de la alimentación y promover estilos de vida saludables.

Asimismo, el análisis de la calidad de la dieta permite monitorear los cambios en los **patrones alimentarios asociados con la transición nutricional**, fenómeno que ha modificado la alimentación de muchas poblaciones en las últimas décadas. La identificación de estos cambios resulta fundamental para comprender su impacto en la salud y en el estado nutricional de las comunidades.

En conclusión, el índice de calidad de la dieta es un indicador integral que permite evaluar la adecuación y el equilibrio de los hábitos alimentarios de individuos y poblaciones. Este índice considera aspectos como la diversidad alimentaria, la distribución de macronutrientes y la moderación en el consumo de alimentos poco saludables. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, el análisis de la calidad de la dieta permite comprender la relación entre la alimentación, el metabolismo energético y los procesos fisiológicos relacionados con la adaptación a la hipoxia y la regulación de la eritropoyesis.

2.2.6 Ingesta energética y requerimientos nutricionales

La **ingesta energética** se refiere a la cantidad de energía que el organismo obtiene a partir de los alimentos y bebidas consumidos diariamente. Esta energía es fundamental para mantener las funciones vitales del organismo, como la respiración, la circulación sanguínea,

la regulación de la temperatura corporal, la actividad física y los procesos metabólicos celulares. La energía proveniente de los alimentos se expresa generalmente en **kilocalorías (kcal)** o kilojulios (kJ) y proviene principalmente de los macronutrientes presentes en la dieta: carbohidratos, proteínas y grasas (FAO/OMS, 2004).

Los **requerimientos energéticos** representan la cantidad de energía que una persona necesita para mantener el equilibrio entre la ingesta y el gasto energético, garantizando así el mantenimiento del peso corporal y el funcionamiento adecuado del organismo. Estos requerimientos varían entre individuos y dependen de diversos factores, como la edad, el sexo, el peso corporal, la composición corporal, el nivel de actividad física y las condiciones fisiológicas particulares de cada persona.

El gasto energético total del organismo se compone de tres componentes principales: el **metabolismo basal**, el **efecto térmico de los alimentos** y el **gasto energético asociado a la actividad física**. El metabolismo basal corresponde a la cantidad de energía que el organismo requiere para mantener las funciones vitales en estado de reposo, como la respiración, la circulación y el funcionamiento de los órganos. Este componente representa aproximadamente entre el 60 % y el 70 % del gasto energético total en la mayoría de los adultos (Guyton y Hall, 2016).

El **efecto térmico de los alimentos** corresponde a la energía utilizada durante los procesos de digestión, absorción y metabolismo de los nutrientes ingeridos. Este componente representa aproximadamente entre el 5 % y el 10 % del gasto energético total. Finalmente, el gasto energético asociado a la **actividad física** depende del nivel de movimiento y del tipo de actividades que realiza una persona a lo largo del día. Este componente puede variar considerablemente entre individuos, dependiendo de su estilo de vida y de sus actividades laborales o recreativas.

Los alimentos proporcionan energía a través de los **macronutrientes**, cada uno de los cuales aporta una cantidad específica de energía por gramo. Los carbohidratos y las proteínas proporcionan aproximadamente **cuatro kilocalorías por gramo**, mientras que las

grasas aportan alrededor de **nueve kilocalorías por gramo**. Esta diferencia explica por qué los alimentos ricos en grasas suelen tener una mayor densidad energética en comparación con otros alimentos (Gibson, 2005).

Para mantener una nutrición adecuada, la ingesta energética debe estar equilibrada con los requerimientos del organismo. Cuando la ingesta de energía supera el gasto energético, el exceso de energía se almacena en forma de **tejido adiposo**, lo que puede conducir al desarrollo de sobrepeso u obesidad. Por el contrario, cuando la ingesta energética es insuficiente para cubrir las necesidades del organismo, puede producirse pérdida de peso y desnutrición.

Además de la energía, la dieta debe proporcionar cantidades adecuadas de **nutrientes esenciales**, incluyendo proteínas, vitaminas y minerales, necesarios para el crecimiento, la reparación de tejidos y la regulación de procesos metabólicos. Estos requerimientos nutricionales se establecen mediante valores de referencia desarrollados por organismos internacionales, los cuales se utilizan para orientar las recomendaciones dietéticas y evaluar la adecuación de la alimentación (FAO/OMS, 2004).

Los requerimientos nutricionales también pueden variar en función de diferentes **condiciones fisiológicas**, como el crecimiento, el embarazo, la lactancia o la presencia de enfermedades. Durante estas etapas, el organismo puede requerir mayores cantidades de energía y nutrientes para mantener el equilibrio metabólico y garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas corporales.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, los requerimientos energéticos pueden verse influenciados por las condiciones ambientales asociadas con la **hipoxia hipobárica**. La menor disponibilidad de oxígeno en estas regiones puede generar adaptaciones fisiológicas que incrementan el gasto energético del organismo, especialmente en actividades físicas que requieren mayor esfuerzo respiratorio y cardiovascular (Gonzales, 2011).

Asimismo, las condiciones climáticas de las regiones altoandinas, caracterizadas por **temperaturas bajas y ambientes geográficamente exigentes**, pueden incrementar la demanda energética del organismo para mantener la temperatura corporal y realizar actividades físicas en terrenos de gran altitud. Estas condiciones pueden requerir dietas con mayor aporte energético para cubrir las necesidades metabólicas de las poblaciones que viven en estas regiones.

Además, la ingesta energética adecuada es importante para mantener el **estado nutricional y la composición corporal**, factores que pueden influir en la capacidad del organismo para adaptarse a la hipoxia. Por ejemplo, dietas con exceso de energía pueden favorecer el desarrollo de sobrepeso u obesidad, lo que puede afectar la función respiratoria y aumentar la demanda metabólica de oxígeno. Estas alteraciones pueden generar estados de hipoxia tisular que podrían influir en la regulación de la eritropoyesis.

Por otro lado, una ingesta energética insuficiente puede afectar el metabolismo energético y limitar la disponibilidad de nutrientes esenciales para procesos fisiológicos importantes, como la **producción de eritrocitos y la síntesis de hemoglobina**. En poblaciones que viven en altitudes elevadas, donde el organismo necesita optimizar el transporte de oxígeno hacia los tejidos, el aporte adecuado de energía y nutrientes resulta fundamental para mantener la capacidad funcional del organismo.

Desde la perspectiva de la salud pública y de la nutrición, el análisis de la ingesta energética y de los requerimientos nutricionales permite evaluar la **adecuación de la dieta** y desarrollar estrategias destinadas a mejorar el estado nutricional de las poblaciones. Este análisis resulta especialmente relevante en estudios que buscan comprender la relación entre alimentación, metabolismo y procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la altura.

En conclusión, la ingesta energética y los requerimientos nutricionales constituyen elementos fundamentales en la evaluación de la alimentación y del estado nutricional. El equilibrio entre la energía consumida y el gasto energético del organismo es esencial para mantener la salud y el funcionamiento adecuado de los sistemas corporales. En poblaciones

que habitan en regiones de gran altitud, comprender estos aspectos resulta particularmente importante para analizar la relación entre la dieta, el metabolismo energético y los procesos fisiológicos relacionados con la adaptación a la hipoxia y la producción de eritrocitos.

2.2.7 Consumo de carbohidratos en poblaciones de altura

Los **carbohidratos** constituyen una de las principales fuentes de energía en la alimentación humana y desempeñan un papel fundamental en el metabolismo energético del organismo. Estos nutrientes están presentes principalmente en alimentos como cereales, tubérculos, frutas, legumbres y algunos productos procesados. Desde el punto de vista fisiológico, los carbohidratos son transformados durante la digestión en moléculas de **glucosa**, la cual es utilizada por las células como fuente inmediata de energía o almacenada en forma de glucógeno en el hígado y los músculos para su utilización posterior (Guyton y Hall, 2016).

En el contexto de las **poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**, el consumo de carbohidratos adquiere una relevancia particular debido a las condiciones ambientales asociadas con la **hipoxia hipobárica**, es decir, la disminución de la presión parcial de oxígeno presente en estas regiones. En ambientes de altura, el organismo debe desarrollar mecanismos fisiológicos que permitan optimizar el uso del oxígeno disponible y mantener el metabolismo energético necesario para las funciones vitales (Gonzales, 2011).

Diversos estudios han señalado que en condiciones de hipoxia el organismo puede favorecer la **utilización de carbohidratos como fuente principal de energía**, debido a que su metabolismo requiere una menor cantidad de oxígeno en comparación con la oxidación de grasas. Esta característica metabólica hace que los carbohidratos sean una fuente energética más eficiente en ambientes donde la disponibilidad de oxígeno es limitada. Por esta razón, las dietas ricas en carbohidratos pueden favorecer la producción de energía en poblaciones que viven en altitudes elevadas.

En las regiones altoandinas, el consumo de carbohidratos suele estar estrechamente vinculado con los **alimentos tradicionales de la dieta local**, los cuales incluyen

principalmente tubérculos y cereales adaptados a las condiciones climáticas y geográficas de la región. Entre los alimentos más representativos se encuentran la papa, el maíz, la quinua y otros tubérculos andinos como la oca y la mashua. Estos alimentos constituyen la base energética de la dieta de muchas comunidades altoandinas y proporcionan carbohidratos complejos que se metabolizan de manera gradual en el organismo (Caballero, 2017).

Los **carbohidratos complejos**, presentes en alimentos como los tubérculos y los cereales integrales, poseen un índice glucémico moderado y aportan fibra dietética, lo que contribuye a una liberación más lenta y sostenida de glucosa en el torrente sanguíneo. Esta característica permite mantener niveles estables de energía durante periodos prolongados y favorece el rendimiento físico en actividades que requieren esfuerzo sostenido.

Además, muchos de los alimentos tradicionales ricos en carbohidratos también aportan **vitaminas, minerales y compuestos bioactivos** que contribuyen al adecuado funcionamiento del metabolismo energético. Por ejemplo, la quinua y otros cereales andinos contienen cantidades significativas de proteínas, hierro y vitaminas del complejo B, nutrientes que participan en la producción de energía y en la formación de células sanguíneas.

En las poblaciones de altura, el consumo adecuado de carbohidratos también puede influir en la **capacidad del organismo para realizar actividades físicas**, especialmente en contextos donde las labores agrícolas y otras actividades demandan esfuerzo físico en condiciones de menor disponibilidad de oxígeno. Los carbohidratos almacenados en forma de glucógeno muscular constituyen una fuente importante de energía durante el ejercicio, lo que permite mantener el rendimiento físico y retrasar la aparición de la fatiga.

Asimismo, el metabolismo de los carbohidratos está relacionado con la **regulación del metabolismo del oxígeno y la producción de energía a nivel celular**. Durante la glucólisis y el ciclo de Krebs, la glucosa se transforma en moléculas de ATP que proporcionan energía para el funcionamiento celular. En condiciones de hipoxia, el

organismo puede aumentar la utilización de la glucosa para mantener la producción de energía a través de vías metabólicas que requieren menor disponibilidad de oxígeno.

Sin embargo, en las últimas décadas se han observado cambios en los patrones de consumo de carbohidratos en muchas comunidades altoandinas debido a la **transición nutricional**. Este proceso ha favorecido el aumento en el consumo de alimentos procesados ricos en azúcares refinados y carbohidratos simples, como bebidas azucaradas, productos de panadería industrial y alimentos ultraprocesados (Popkin, 2017).

A diferencia de los carbohidratos complejos presentes en los alimentos tradicionales, los **carbohidratos simples** se absorben rápidamente en el organismo, lo que puede generar incrementos bruscos en los niveles de glucosa en sangre. El consumo excesivo de estos alimentos se ha asociado con el desarrollo de sobrepeso, obesidad y otras enfermedades metabólicas, como la diabetes mellitus tipo 2.

En el contexto de la salud en poblaciones de altura, el consumo excesivo de carbohidratos simples y dietas hipercalóricas puede afectar el **estado nutricional y la composición corporal**, lo que a su vez puede influir en la función respiratoria y en el metabolismo energético. El desarrollo de obesidad puede aumentar la demanda metabólica de oxígeno y generar estados de hipoxia tisular que podrían influir en la regulación de la eritropoyesis.

Desde la perspectiva de la nutrición y la salud pública, es importante promover el consumo de **carbohidratos complejos provenientes de alimentos tradicionales**, los cuales proporcionan energía de manera sostenida y aportan nutrientes esenciales para el organismo. La preservación de las prácticas alimentarias tradicionales puede contribuir a mantener dietas equilibradas y a prevenir enfermedades asociadas con la transición nutricional.

En conclusión, los carbohidratos constituyen una fuente fundamental de energía para el organismo y desempeñan un papel especialmente importante en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud. El consumo de carbohidratos complejos provenientes de

alimentos tradicionales puede favorecer la eficiencia metabólica en condiciones de hipoxia y contribuir al mantenimiento del rendimiento físico y del equilibrio energético. Comprender los patrones de consumo de carbohidratos en estas poblaciones resulta fundamental para analizar la relación entre alimentación, metabolismo energético y adaptación fisiológica a la altura.

2.2.8 Ingesta de proteínas y metabolismo eritropoyético

Las **proteínas** constituyen macronutrientes esenciales que desempeñan funciones fundamentales en el organismo, incluyendo la formación y reparación de tejidos, la síntesis de enzimas y hormonas, y la regulación de diversos procesos metabólicos. Desde el punto de vista fisiológico, las proteínas están formadas por **aminoácidos**, compuestos orgánicos que participan en la estructura y funcionamiento de las células. En el contexto de la hematología y de la fisiología de la sangre, las proteínas desempeñan un papel clave en el proceso de **eritropoyesis**, es decir, en la producción de eritrocitos o glóbulos rojos en la médula ósea (Guyton y Hall, 2016).

La eritropoyesis es un proceso complejo que requiere la proliferación y diferenciación de células precursoras hematopoyéticas para dar origen a eritrocitos maduros. Durante este proceso, las células precursoras deben sintetizar grandes cantidades de **proteínas estructurales y funcionales**, entre las cuales destaca la hemoglobina. La hemoglobina es una proteína compleja formada por cadenas de globina y por grupos hemo que contienen hierro. Esta proteína es responsable del transporte de oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos y de la eliminación del dióxido de carbono producido por el metabolismo celular.

La ingesta adecuada de proteínas es fundamental para asegurar la disponibilidad de **aminoácidos esenciales**, los cuales participan en la síntesis de la globina, componente proteico de la hemoglobina. Una dieta con aporte suficiente de proteínas permite mantener una adecuada producción de eritrocitos y favorecer el transporte eficiente de oxígeno en el organismo. Por el contrario, una ingesta insuficiente de proteínas puede afectar la síntesis

de hemoglobina y reducir la capacidad del organismo para producir células sanguíneas de manera adecuada (Gibson, 2005).

Las proteínas dietéticas se obtienen a partir de alimentos de **origen animal y vegetal**. Entre las principales fuentes de proteínas de origen animal se encuentran las carnes, el pescado, los huevos y los productos lácteos. Estas proteínas suelen tener un alto valor biológico debido a que contienen todos los aminoácidos esenciales en proporciones adecuadas para el organismo. Por otro lado, las proteínas de origen vegetal se encuentran en alimentos como legumbres, cereales, frutos secos y algunos pseudocereales como la quinoa, los cuales también pueden contribuir significativamente al aporte proteico cuando se consumen en combinación adecuada.

En las **poblaciones altoandinas**, las fuentes de proteínas suelen incluir alimentos tradicionales como carnes de alpaca, llama o cuy, así como legumbres y cereales andinos ricos en proteínas. Estos alimentos contribuyen a cubrir los requerimientos proteicos del organismo y proporcionan aminoácidos esenciales necesarios para el mantenimiento de la masa muscular y para la síntesis de proteínas sanguíneas (Caballero, 2017).

Además de su papel en la formación de hemoglobina, las proteínas también participan en la **síntesis de enzimas y hormonas** involucradas en la regulación de la eritropoyesis. Un ejemplo importante es la eritropoyetina, hormona producida principalmente en los riñones que estimula la producción de eritrocitos en la médula ósea. La síntesis y funcionamiento adecuado de esta hormona dependen del metabolismo proteico y del equilibrio nutricional del organismo.

En el contexto de las poblaciones que habitan en **regiones de gran altitud**, la relación entre la ingesta de proteínas y el metabolismo eritropoyético adquiere una importancia particular debido a la presencia de **hipoxia hipobárica**. La disminución de la presión parcial de oxígeno en estas regiones estimula la producción de eritropoyetina, lo que incrementa la producción de eritrocitos como mecanismo adaptativo para mejorar el transporte de oxígeno hacia los tejidos (Gonzales, 2011).

Este aumento en la producción de eritrocitos implica una mayor demanda de nutrientes involucrados en la síntesis de hemoglobina y en la formación de nuevas células sanguíneas. En este contexto, la ingesta adecuada de proteínas resulta fundamental para garantizar la disponibilidad de aminoácidos necesarios para la síntesis de globina y para el adecuado funcionamiento del proceso eritropoyético.

Asimismo, las proteínas también desempeñan un papel importante en el **metabolismo energético y en la función muscular**, aspectos que pueden influir en la capacidad del organismo para realizar actividades físicas en ambientes de altura. En poblaciones que realizan labores agrícolas o actividades físicas intensas, el aporte adecuado de proteínas contribuye al mantenimiento de la masa muscular y al rendimiento físico.

Sin embargo, es importante considerar que el metabolismo de las proteínas también genera **productos nitrogenados**, como la urea, que deben ser eliminados por el organismo a través de los riñones. Por esta razón, el consumo de proteínas debe mantenerse dentro de los rangos recomendados para evitar desequilibrios metabólicos.

En el marco de la **transición nutricional** observada en algunas poblaciones andinas, también se han registrado cambios en el consumo de proteínas, incluyendo una mayor disponibilidad de alimentos procesados y productos de origen animal provenientes de sistemas de producción industrial. Estos cambios pueden modificar el perfil nutricional de la dieta y afectar la distribución de macronutrientes en la alimentación.

Desde la perspectiva de la nutrición y la salud pública, el análisis de la ingesta de proteínas permite evaluar su relación con el **estado nutricional, la producción de células sanguíneas y la capacidad de adaptación fisiológica del organismo**. En poblaciones de altura, donde el transporte eficiente de oxígeno es esencial para la supervivencia y el rendimiento físico, una ingesta adecuada de proteínas puede contribuir a optimizar la producción de hemoglobina y a mantener la función hematológica.

En conclusión, las proteínas desempeñan un papel esencial en el metabolismo eritropoyético al proporcionar los aminoácidos necesarios para la síntesis de hemoglobina

y para la formación de eritrocitos. La ingesta adecuada de proteínas permite mantener el funcionamiento adecuado de la médula ósea y favorecer el transporte eficiente de oxígeno en el organismo. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, donde la hipoxia estimula la producción de eritrocitos, el consumo adecuado de proteínas constituye un factor importante para el mantenimiento de la salud hematológica y la adaptación fisiológica a las condiciones de altura.

2.2.9 Consumo de grasas y riesgo metabólico

Las **grasas o lípidos** constituyen uno de los tres macronutrientes principales de la dieta humana y desempeñan funciones esenciales en el organismo. Entre sus principales funciones se encuentran el suministro de energía, la formación de membranas celulares, la síntesis de hormonas y la absorción de vitaminas liposolubles como las vitaminas A, D, E y K (Guyton y Hall, 2016). A pesar de su importancia fisiológica, el consumo excesivo o inadecuado de ciertos tipos de grasas se ha asociado con un mayor **riesgo metabólico**, incluyendo enfermedades cardiovasculares, obesidad, dislipidemia y diabetes mellitus tipo 2.

Las grasas dietéticas pueden clasificarse en **grasas saturadas, grasas insaturadas y grasas trans**, según la estructura química de sus ácidos grasos. Las grasas saturadas se encuentran principalmente en alimentos de origen animal, como carnes grasas, productos lácteos enteros y algunos aceites tropicales. Estas grasas suelen asociarse con un aumento en los niveles de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL), lo que puede favorecer la formación de placas de ateroma en las arterias (WHO, 2020).

Por otro lado, las **grasas insaturadas**, que incluyen ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, se encuentran en alimentos como aceites vegetales, frutos secos, semillas y pescado. Estas grasas se consideran más saludables, ya que pueden contribuir a mejorar el perfil lipídico en la sangre, disminuyendo los niveles de colesterol LDL y aumentando el colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL), el cual se asocia con efectos protectores para el sistema cardiovascular.

Las **grasas trans**, presentes principalmente en alimentos ultraprocesados y productos elaborados con aceites parcialmente hidrogenados, han sido identificadas como uno de los componentes dietéticos más perjudiciales para la salud cardiovascular. El consumo de grasas trans se asocia con un aumento del colesterol LDL, una disminución del colesterol HDL y un incremento del riesgo de enfermedades cardiovasculares y metabólicas (WHO, 2020).

El **riesgo metabólico** se refiere a la probabilidad de desarrollar alteraciones metabólicas que pueden afectar el funcionamiento del organismo y aumentar la probabilidad de enfermedades crónicas. Entre los principales factores de riesgo metabólico se encuentran el sobrepeso, la obesidad abdominal, la hipertensión arterial, la resistencia a la insulina y las alteraciones en el perfil lipídico. El consumo excesivo de grasas, especialmente grasas saturadas y trans, puede contribuir a la aparición de estas alteraciones.

Uno de los mecanismos mediante los cuales el consumo excesivo de grasas contribuye al riesgo metabólico es a través de su impacto en el **balance energético del organismo**. Las grasas aportan aproximadamente nueve kilocalorías por gramo, lo que las convierte en el macronutriente con mayor densidad energética. Cuando el consumo de grasas supera las necesidades energéticas del organismo, el exceso de energía se almacena en forma de tejido adiposo, lo que puede conducir al desarrollo de sobrepeso u obesidad (Gibson, 2005).

El exceso de tejido adiposo, particularmente cuando se acumula en la región abdominal, se asocia con un mayor riesgo de **síndrome metabólico**, un conjunto de alteraciones metabólicas que incluyen resistencia a la insulina, dislipidemia, hipertensión arterial y aumento de la glucosa en sangre. Estas condiciones incrementan significativamente el riesgo de enfermedades cardiovasculares y de diabetes tipo 2 (Després, 2012).

Además, el tejido adiposo en exceso puede actuar como un **órgano endocrino**, liberando diversas sustancias inflamatorias conocidas como adipocinas. Estas sustancias

pueden promover procesos de inflamación crónica de bajo grado que afectan el metabolismo de la glucosa y de los lípidos, contribuyendo al desarrollo de alteraciones metabólicas.

En el contexto de las **poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**, el consumo de grasas también puede tener implicancias importantes en el metabolismo energético y en la salud cardiovascular. La exposición a la hipoxia hipobárica puede generar adaptaciones fisiológicas que afectan la circulación sanguínea, el metabolismo energético y la regulación del transporte de oxígeno (Gonzales, 2011).

Cuando el consumo de grasas es excesivo y se combina con el desarrollo de obesidad, pueden generarse alteraciones en la **función respiratoria y en la oxigenación tisular**. El exceso de tejido adiposo puede limitar la expansión pulmonar y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede agravar los efectos de la hipoxia ambiental. Esta situación puede generar estados de hipoxia tisular que estimulan mecanismos compensatorios como el aumento en la producción de eritrocitos.

Asimismo, las dietas con alto contenido de grasas saturadas pueden influir en la **salud cardiovascular** de las poblaciones de altura, especialmente cuando se combinan con otros factores de riesgo metabólico. El aumento en la viscosidad sanguínea asociado con la eritrocitosis puede generar una mayor carga sobre el sistema cardiovascular, lo que puede incrementar el riesgo de complicaciones circulatorias.

Sin embargo, no todas las grasas tienen efectos negativos sobre la salud. Las grasas insaturadas, especialmente los **ácidos grasos omega-3**, presentes en pescados y algunos aceites vegetales, pueden tener efectos beneficiosos en la regulación del metabolismo lipídico y en la reducción de procesos inflamatorios. Estos ácidos grasos también pueden contribuir a mejorar la función cardiovascular y a reducir el riesgo de enfermedades metabólicas.

Desde la perspectiva de la nutrición y de la salud pública, es importante promover un **consumo equilibrado de grasas**, priorizando el consumo de grasas insaturadas y limitando la ingesta de grasas saturadas y trans. Las recomendaciones nutricionales

generalmente sugieren que las grasas deben aportar aproximadamente entre el 20 % y el 35 % de la energía total de la dieta, con un predominio de grasas saludables provenientes de fuentes vegetales y marinas.

En el caso de las poblaciones que habitan en regiones altoandinas, el análisis del consumo de grasas resulta relevante para comprender su relación con el **estado nutricional, la composición corporal y el riesgo metabólico**. El estudio de los patrones de consumo de grasas puede contribuir a identificar cambios en los hábitos alimentarios asociados con la transición nutricional y a diseñar estrategias orientadas a promover dietas más saludables.

En conclusión, el consumo de grasas desempeña un papel importante en el metabolismo energético y en la salud del organismo. Aunque las grasas cumplen funciones fisiológicas esenciales, su consumo excesivo o desequilibrado puede aumentar el riesgo de alteraciones metabólicas y enfermedades crónicas. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, comprender la relación entre el consumo de grasas, el metabolismo energético y el riesgo metabólico resulta fundamental para analizar la interacción entre nutrición, adaptación fisiológica y salud cardiovascular.

2.2.10 Importancia del hierro en la producción de hemoglobina

El **hierro** es uno de los micronutrientes más importantes para el organismo humano debido a su papel esencial en el **transporte de oxígeno y en la producción de hemoglobina**. Este mineral forma parte del grupo hemo de la hemoglobina, proteína presente en los eritrocitos que permite la unión reversible con el oxígeno y su transporte desde los pulmones hacia los tejidos del cuerpo. La adecuada disponibilidad de hierro es fundamental para mantener un funcionamiento eficiente del sistema hematológico y para garantizar la oxigenación adecuada de los tejidos (Guyton y Hall, 2016).

La **hemoglobina** es una proteína compleja compuesta por cuatro cadenas de globina y cuatro grupos hemo. Cada grupo hemo contiene un átomo de hierro en su centro, el cual tiene la capacidad de unirse al oxígeno. Gracias a esta propiedad, cada molécula de hemoglobina puede transportar hasta cuatro moléculas de oxígeno. Este mecanismo es

fundamental para el metabolismo celular, ya que el oxígeno es necesario para la producción de energía en las células a través de procesos metabólicos como la respiración celular.

La producción de hemoglobina ocurre principalmente durante el proceso de **eritropoyesis**, que tiene lugar en la médula ósea. Durante este proceso, las células precursoras eritroides sintetizan grandes cantidades de hemoglobina a medida que maduran y se transforman en eritrocitos funcionales. Para que este proceso se lleve a cabo de manera adecuada, el organismo debe disponer de cantidades suficientes de hierro, así como de otros nutrientes como proteínas, vitamina B12 y ácido fólico (WHO, 2011).

El hierro presente en el organismo proviene principalmente de la **dieta**, aunque también puede reciclarse a partir de la degradación de eritrocitos envejecidos. Los eritrocitos tienen una vida media aproximada de 120 días, después de los cuales son destruidos en órganos como el bazo y el hígado. Durante este proceso, el hierro contenido en la hemoglobina es liberado y reutilizado para la producción de nuevos eritrocitos. Este mecanismo de reciclaje permite conservar las reservas de hierro del organismo y mantener la producción de hemoglobina.

En la alimentación humana, el hierro se encuentra en dos formas principales: **hierro hemo y hierro no hemo**. El hierro hemo se encuentra en alimentos de origen animal, como carnes rojas, aves y pescado, y se caracteriza por tener una mayor biodisponibilidad, lo que significa que es absorbido con mayor facilidad en el intestino. Por otro lado, el hierro no hemo se encuentra en alimentos de origen vegetal, como legumbres, cereales, verduras y frutos secos, y su absorción puede verse influenciada por diversos factores dietéticos (Gibson, 2005).

La absorción del hierro ocurre principalmente en el **intestino delgado**, especialmente en el duodeno. Una vez absorbido, el hierro es transportado en la sangre por una proteína llamada **transferrina**, que lo distribuye hacia diferentes tejidos del organismo, incluyendo la médula ósea, donde se utiliza para la síntesis de hemoglobina. El hierro también puede almacenarse en el organismo en forma de **ferritina**, principalmente en el

hígado, el bazo y la médula ósea, lo que permite mantener reservas que pueden utilizarse cuando la ingesta dietética es insuficiente.

La importancia del hierro en la producción de hemoglobina se evidencia en las consecuencias que genera su **deficiencia**. La falta de hierro en el organismo puede provocar una disminución en la síntesis de hemoglobina y en la producción de eritrocitos, lo que conduce al desarrollo de **anemia ferropénica**. Esta condición se caracteriza por una reducción en la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo que puede provocar síntomas como fatiga, debilidad, disminución del rendimiento físico y alteraciones en la función cognitiva (WHO, 2011).

En el contexto de las **poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**, la importancia del hierro en la producción de hemoglobina adquiere una relevancia particular debido a las condiciones ambientales asociadas con la **hipoxia hipobárica**. En estas regiones, la menor disponibilidad de oxígeno en el ambiente estimula la producción de eritropoyetina, hormona que aumenta la producción de eritrocitos en la médula ósea como mecanismo de adaptación fisiológica (Gonzales, 2011).

Este incremento en la producción de eritrocitos implica una mayor demanda de hierro para la síntesis de hemoglobina. Por esta razón, un adecuado aporte de hierro en la dieta resulta esencial para mantener la capacidad del organismo para responder a la hipoxia mediante el aumento de la eritropoyesis. Cuando el organismo no dispone de suficientes reservas de hierro, la producción de hemoglobina puede verse limitada, lo que afecta la capacidad de transporte de oxígeno hacia los tejidos.

Por otro lado, en algunos casos la estimulación prolongada de la eritropoyesis en poblaciones de altura puede conducir a la aparición de **eritrocitosis excesiva**, condición caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito. Aunque la hipoxia es el principal estímulo para este proceso, la disponibilidad de hierro puede influir en la magnitud de la producción de hemoglobina y en la respuesta eritropoyética del organismo.

Desde la perspectiva de la nutrición y la salud pública, la promoción de una dieta que incluya **alimentos ricos en hierro** constituye una estrategia fundamental para prevenir deficiencias nutricionales y para favorecer la producción adecuada de hemoglobina. Entre los alimentos con alto contenido de hierro se encuentran las carnes rojas, el hígado, el pescado, las legumbres, los cereales integrales y algunas verduras de hoja verde.

Asimismo, la absorción del hierro puede mejorarse mediante la **combinación adecuada de alimentos**, por ejemplo, consumiendo alimentos ricos en vitamina C junto con alimentos que contienen hierro no hemo. La vitamina C favorece la absorción del hierro al facilitar su conversión a una forma química más fácilmente absorbible en el intestino.

En conclusión, el hierro desempeña un papel esencial en la producción de hemoglobina y en el transporte de oxígeno en el organismo. Su adecuada disponibilidad es fundamental para mantener la producción de eritrocitos y para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema hematológico. En poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, donde la hipoxia estimula la producción de glóbulos rojos, el aporte adecuado de hierro en la dieta adquiere una importancia particular para el mantenimiento de la salud y para la adaptación fisiológica a las condiciones ambientales de la altura.

2.2.11 Relación entre dieta y salud cardiovascular

La **salud cardiovascular** se encuentra estrechamente relacionada con los hábitos alimentarios y con la calidad de la dieta. El sistema cardiovascular, compuesto por el corazón y los vasos sanguíneos, cumple la función de transportar oxígeno, nutrientes y sustancias metabólicas a todas las células del organismo. Cuando la alimentación es inadecuada o desequilibrada, pueden producirse alteraciones metabólicas que afectan el funcionamiento de este sistema y aumentan el riesgo de desarrollar **enfermedades cardiovasculares** (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Las enfermedades cardiovasculares incluyen diversas condiciones como la **hipertensión arterial, la cardiopatía coronaria, el infarto de miocardio y el accidente cerebrovascular**. Estas enfermedades representan una de las principales causas de

mortalidad a nivel mundial y se encuentran fuertemente influenciadas por factores de riesgo modificables, entre los cuales la dieta ocupa un lugar destacado. La calidad de la alimentación puede influir en parámetros fisiológicos como el perfil lipídico, la presión arterial, el metabolismo de la glucosa y el estado inflamatorio del organismo.

Uno de los principales mecanismos mediante los cuales la dieta influye en la salud cardiovascular es a través de la **regulación del metabolismo de los lípidos**. El consumo excesivo de grasas saturadas y grasas trans se asocia con un aumento en los niveles de colesterol de lipoproteínas de baja densidad (LDL), conocido como “colesterol malo”. Este tipo de colesterol puede acumularse en las paredes de las arterias y formar placas de ateroma, proceso conocido como **aterosclerosis**, que reduce el flujo sanguíneo y aumenta el riesgo de eventos cardiovasculares (WHO, 2020).

En contraste, el consumo de **grasas insaturadas**, especialmente ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, puede tener efectos protectores sobre el sistema cardiovascular. Estas grasas se encuentran en alimentos como aceites vegetales, frutos secos, semillas y pescado. Diversos estudios han demostrado que el reemplazo de grasas saturadas por grasas insaturadas en la dieta puede contribuir a mejorar el perfil lipídico y reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Otro componente importante de la dieta relacionado con la salud cardiovascular es el **consumo de sodio**. La ingesta excesiva de sodio, principalmente a través de alimentos procesados y sal de mesa, se ha asociado con el desarrollo de hipertensión arterial. El exceso de sodio favorece la retención de líquidos y aumenta la presión ejercida sobre las paredes de los vasos sanguíneos, lo que incrementa la carga de trabajo del corazón y aumenta el riesgo de complicaciones cardiovasculares.

Asimismo, el **consumo elevado de azúcares simples y carbohidratos refinados** puede contribuir al desarrollo de alteraciones metabólicas como la resistencia a la insulina y el aumento de los niveles de triglicéridos en la sangre. Estas alteraciones metabólicas forman parte del llamado **síndrome metabólico**, un conjunto de factores de riesgo que

incrementan la probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares y diabetes mellitus tipo 2 (Després, 2012).

Por otro lado, algunos componentes de la dieta poseen efectos protectores para el sistema cardiovascular. El consumo regular de **frutas, verduras, legumbres y cereales integrales** se ha asociado con un menor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Estos alimentos son ricos en fibra dietética, antioxidantes, vitaminas y minerales que contribuyen a reducir el colesterol, mejorar la función vascular y disminuir los procesos inflamatorios.

La **fibra dietética**, por ejemplo, puede ayudar a reducir los niveles de colesterol en sangre al interferir con la absorción de grasas en el intestino. Además, la fibra contribuye a mejorar el control de la glucosa en sangre y favorece la sensación de saciedad, lo que puede ayudar a prevenir el desarrollo de obesidad, otro factor de riesgo importante para las enfermedades cardiovasculares.

En el contexto de las **poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**, la relación entre dieta y salud cardiovascular adquiere características particulares debido a la interacción entre la nutrición y las adaptaciones fisiológicas a la **hipoxia hipobárica**. La exposición prolongada a ambientes con menor disponibilidad de oxígeno puede generar cambios en el sistema cardiovascular, incluyendo modificaciones en la presión arterial pulmonar y en la circulación sanguínea (Gonzales, 2011).

Cuando estas adaptaciones fisiológicas se combinan con factores de riesgo asociados a la dieta, como el sobrepeso, la obesidad o el consumo elevado de grasas saturadas, el riesgo de complicaciones cardiovasculares puede incrementarse. Además, en poblaciones de altura puede presentarse **eritrocitosis excesiva**, condición caracterizada por niveles elevados de hemoglobina que aumentan la viscosidad de la sangre y pueden generar mayor carga sobre el sistema cardiovascular.

Asimismo, el estado nutricional influye en la **composición corporal y en la función respiratoria**, factores que pueden afectar el transporte de oxígeno hacia los tejidos. El

exceso de tejido adiposo puede limitar la expansión pulmonar y aumentar la demanda metabólica de oxígeno, lo que puede intensificar los efectos de la hipoxia ambiental.

Desde la perspectiva de la salud pública, promover **hábitos alimentarios saludables** constituye una estrategia fundamental para reducir la carga de enfermedades cardiovasculares. Las recomendaciones nutricionales suelen enfatizar el consumo de alimentos frescos y mínimamente procesados, el aumento de la ingesta de frutas y verduras, la reducción del consumo de sodio y la limitación de grasas saturadas y azúcares añadidos.

En poblaciones altoandinas, también es importante promover el consumo de **alimentos tradicionales ricos en nutrientes**, como tubérculos, cereales andinos y productos de origen animal producidos localmente, los cuales pueden formar parte de una dieta equilibrada y contribuir al mantenimiento de la salud cardiovascular.

En conclusión, la dieta desempeña un papel determinante en la salud cardiovascular al influir en factores metabólicos como el perfil lipídico, la presión arterial y el metabolismo de la glucosa. Una alimentación equilibrada puede contribuir a prevenir enfermedades cardiovasculares y mejorar la calidad de vida de las poblaciones. En regiones de gran altitud, comprender la relación entre dieta y salud cardiovascular resulta especialmente importante para analizar cómo los hábitos alimentarios pueden influir en la adaptación fisiológica a la hipoxia y en el mantenimiento de la salud del sistema circulatorio.

El análisis del **consumo alimentario y de los nutrientes relacionados con la eritrocitosis** permite comprender la estrecha relación existente entre la alimentación, el metabolismo y los procesos fisiológicos asociados con la producción de eritrocitos. A lo largo de este capítulo se han abordado los fundamentos teóricos y conceptuales que explican cómo la dieta influye en la disponibilidad de nutrientes esenciales para la eritropoyesis y en la capacidad del organismo para mantener un adecuado transporte de oxígeno hacia los tejidos.

En primer lugar, se revisaron los **referentes teóricos del consumo alimentario**, destacando el papel de los factores sociales, culturales y económicos en la configuración de

los patrones dietéticos. La alimentación no responde únicamente a necesidades biológicas, sino que está influenciada por tradiciones culturales, disponibilidad de alimentos y transformaciones socioeconómicas que han modificado los hábitos alimentarios en muchas comunidades. En el caso de las poblaciones andinas, los procesos de transición nutricional han generado cambios significativos en los patrones de consumo, combinando dietas tradicionales con la creciente presencia de alimentos procesados.

Asimismo, se analizó la importancia de los **patrones alimentarios en las zonas altoandinas**, caracterizados históricamente por el consumo de tubérculos, cereales andinos, legumbres y alimentos de origen animal adaptados a las condiciones ambientales de la región. Estos alimentos constituyen fuentes importantes de energía y nutrientes esenciales que contribuyen al mantenimiento del metabolismo energético y a la producción de células sanguíneas.

El capítulo también abordó el papel de los **macronutrientes y micronutrientes en los procesos metabólicos y hematológicos**. Los carbohidratos representan una fuente energética fundamental, especialmente en ambientes de altura donde el metabolismo puede favorecer su utilización debido a su eficiencia en condiciones de menor disponibilidad de oxígeno. Las proteínas aportan aminoácidos esenciales para la síntesis de globina, componente estructural de la hemoglobina, mientras que las grasas influyen en el metabolismo energético y en el riesgo cardiometabólico cuando se consumen en exceso o de forma desequilibrada.

Por otro lado, se destacó la importancia de micronutrientes clave como el **hierro, la vitamina B12 y el ácido fólico**, los cuales participan directamente en la formación de hemoglobina y en el proceso de eritropoyesis. La disponibilidad adecuada de estos nutrientes resulta fundamental para mantener una producción eficiente de eritrocitos y garantizar el transporte adecuado de oxígeno en el organismo. En poblaciones expuestas a condiciones de hipoxia crónica, como las que viven en regiones de gran altitud, estos nutrientes adquieren una relevancia aún mayor debido a la mayor demanda fisiológica asociada a la adaptación a la altura.

Además, se revisaron diversos **métodos de evaluación del consumo alimentario**, como el recordatorio de 24 horas y los cuestionarios de frecuencia de consumo de alimentos, los cuales permiten analizar la ingesta de nutrientes y evaluar la calidad de la dieta. Estos instrumentos constituyen herramientas fundamentales para la investigación nutricional, ya que permiten identificar patrones dietéticos y evaluar su relación con el estado nutricional y con diferentes indicadores de salud.

El análisis de la **adecuación nutricional y de la calidad de la dieta** también permite comprender cómo la alimentación influye en la salud metabólica y cardiovascular. Dietas desequilibradas o con bajo contenido de nutrientes esenciales pueden generar deficiencias nutricionales o favorecer el desarrollo de enfermedades crónicas. En poblaciones de altura, estas alteraciones pueden tener implicancias adicionales debido a la interacción entre la nutrición, la función respiratoria y los mecanismos de adaptación fisiológica a la hipoxia.

Asimismo, la interacción entre dieta, metabolismo e inflamación resalta la importancia de mantener **patrones alimentarios saludables** que favorezcan el equilibrio metabólico y reduzcan el riesgo de enfermedades crónicas. La promoción de dietas basadas en alimentos naturales y nutritivos puede contribuir a mejorar el estado nutricional y a prevenir alteraciones metabólicas que afecten la salud cardiovascular y hematológica.

En síntesis, el consumo alimentario constituye una variable clave para comprender los determinantes nutricionales de la eritropoyesis y de la salud en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud. La disponibilidad y el consumo adecuado de nutrientes esenciales influyen directamente en la producción de hemoglobina, en la formación de eritrocitos y en la capacidad del organismo para adaptarse a condiciones ambientales de hipoxia.

El conocimiento de estos procesos permite establecer una base conceptual sólida para el análisis de la relación entre **alimentación, estado nutricional y eritrocitosis**. Este marco teórico proporciona el sustento necesario para el desarrollo del capítulo siguiente, en el cual se abordará el estudio empírico del fenómeno a través del análisis metodológico, la

presentación de resultados y la discusión de los hallazgos obtenidos en la investigación. De esta manera, se integrará la evidencia teórica revisada con el análisis del caso de estudio, permitiendo comprender de forma más profunda la interacción entre nutrición y salud en poblaciones que viven en condiciones de gran altitud.

CAPÍTULO 3

ESTADO NUTRICIONAL, CONSUMO ALIMENTARIO Y ERITROCITOSIS EN POBLACIÓN ADULTA DE ALTURA

El estudio de la relación entre **estado nutricional, consumo alimentario y eritrocitosis** en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud constituye un campo de investigación relevante dentro de la fisiología humana, la nutrición y la medicina de altura. Las condiciones ambientales propias de estas regiones, caracterizadas por la **hipoxia hipobárica** debido a la disminución de la presión parcial de oxígeno, generan adaptaciones fisiológicas destinadas a mantener una adecuada oxigenación de los tejidos. Entre estas adaptaciones destaca el aumento en la producción de eritrocitos, proceso conocido como **eritropoyesis**, que permite incrementar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (Gonzales, 2011).

En condiciones normales, la eritropoyesis representa un mecanismo adaptativo fundamental para la supervivencia en ambientes de altura. Sin embargo, cuando este proceso se intensifica de manera excesiva puede dar lugar a una condición denominada **eritrocitosis excesiva o mal de montaña crónico**, caracterizada por niveles elevados de hemoglobina y hematocrito. Esta alteración puede aumentar la viscosidad sanguínea y generar diversas complicaciones fisiológicas, incluyendo síntomas respiratorios, cardiovasculares y neurológicos que afectan la calidad de vida de las personas que viven en altitudes elevadas.

Aunque la hipoxia constituye el principal estímulo para la producción de eritrocitos, diversos factores biológicos y ambientales pueden influir en la magnitud de la respuesta eritropoyética. Entre estos factores destacan el **estado nutricional y los patrones de consumo alimentario**, los cuales pueden modificar el metabolismo energético, la disponibilidad de nutrientes esenciales y la capacidad del organismo para producir células sanguíneas. Nutrientes como el hierro, las proteínas, el ácido fólico y la vitamina B12

desempeñan un papel clave en la síntesis de hemoglobina y en la formación de eritrocitos, por lo que la dieta puede influir en la regulación de estos procesos hematológicos (WHO, 2011).

En las últimas décadas, las poblaciones que habitan en regiones altoandinas han experimentado cambios importantes en sus **hábitos alimentarios y estilos de vida** como consecuencia de procesos de transición nutricional, urbanización y transformación de los sistemas alimentarios. Estos cambios han modificado la composición de la dieta y han favorecido el incremento del sobrepeso, la obesidad y otras alteraciones metabólicas que pueden influir en la salud cardiovascular y en la función respiratoria. Estas condiciones pueden interactuar con los mecanismos de adaptación a la hipoxia y afectar la regulación de la eritropoyesis.

El **estado nutricional**, evaluado mediante indicadores antropométricos y de composición corporal, también puede desempeñar un papel importante en la respuesta fisiológica del organismo frente a la hipoxia. El exceso de tejido adiposo puede afectar la ventilación pulmonar, aumentar la demanda metabólica de oxígeno y generar estados de hipoxia tisular que podrían estimular mecanismos compensatorios como el incremento en la producción de eritrocitos. Por otro lado, deficiencias nutricionales pueden limitar la disponibilidad de nutrientes necesarios para la síntesis de hemoglobina y afectar la producción de células sanguíneas.

En este contexto, resulta fundamental analizar de manera integrada la relación entre **nutrición, consumo alimentario y parámetros hematológicos** en poblaciones que viven en condiciones de gran altitud. El estudio de estas variables permite comprender cómo los factores nutricionales pueden influir en los procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la hipoxia y con la aparición de eritrocitosis.

El presente capítulo se orienta al desarrollo del **caso de estudio**, en el cual se analizan las características del estado nutricional, los patrones de consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en una población adulta que reside en una región de altura. Para ello, se

describe el diseño metodológico de la investigación, incluyendo el tipo de estudio, la población y muestra, las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos y los procedimientos aplicados para el análisis de la información.

Asimismo, se presentan los **resultados obtenidos en el estudio**, los cuales permiten identificar posibles asociaciones entre el estado nutricional, la ingesta de nutrientes y la presencia de eritrocitosis en la población evaluada. La interpretación de estos resultados se realiza a la luz del marco teórico desarrollado en los capítulos anteriores, lo que permite contextualizar los hallazgos dentro del conocimiento científico existente sobre nutrición y fisiología de altura.

Finalmente, este capítulo busca aportar evidencia que contribuya a comprender la interacción entre **alimentación, estado nutricional y adaptación fisiológica a la hipoxia**, proporcionando información relevante para el desarrollo de estrategias de promoción de la salud y de prevención de alteraciones hematológicas en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

3.1 Diseño metodológico

El **diseño metodológico** constituye el conjunto de estrategias, procedimientos y técnicas que orientan el desarrollo de una investigación científica con el fin de responder a los objetivos planteados y garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. En el ámbito de la investigación en salud y nutrición, el diseño metodológico permite organizar de manera sistemática el proceso de recolección, análisis e interpretación de la información relacionada con las variables de estudio (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En el presente estudio, el diseño metodológico se estructuró con el propósito de analizar la relación entre el **estado nutricional, el consumo alimentario y la presencia de eritrocitosis** en una población adulta residente en una región de gran altitud. Para ello, se establecieron procedimientos que permitieran evaluar de manera integral las características

nutricionales de los participantes, así como los parámetros hematológicos asociados con la producción de eritrocitos.

El diseño de la investigación se orientó bajo un **enfoque observacional**, en el cual los investigadores recopilaban información sobre las variables de interés sin intervenir directamente en las condiciones o comportamientos de los participantes. Este tipo de diseño permite analizar fenómenos que ocurren de manera natural en la población y facilita la identificación de posibles asociaciones entre variables biológicas, nutricionales y ambientales.

Asimismo, el estudio se desarrolló bajo un **diseño transversal**, lo que significa que la información fue recolectada en un momento específico del tiempo. Este tipo de diseño permite describir las características de una población en relación con determinadas variables y analizar la posible relación entre ellas. En el caso del presente estudio, el diseño transversal permitió evaluar simultáneamente el estado nutricional, los patrones de consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en los participantes.

El diseño metodológico también contempló la **evaluación de variables antropométricas, dietéticas y hematológicas**, con el fin de obtener una visión integral de la situación nutricional y de los factores asociados con la eritrocitosis en la población estudiada. Entre las variables antropométricas consideradas se incluyeron indicadores como el peso corporal, la talla y el índice de masa corporal, los cuales permiten estimar el estado nutricional de los individuos.

Por otro lado, la evaluación del **consumo alimentario** permitió estimar la ingesta de energía y nutrientes relevantes para la producción de eritrocitos, como el hierro, las proteínas y las vitaminas del complejo B. Para ello, se utilizaron instrumentos de evaluación dietética que permitieron registrar los alimentos consumidos por los participantes y estimar su aporte nutricional.

En relación con las variables hematológicas, se analizaron **parámetros sanguíneos relacionados con la eritropoyesis**, particularmente los niveles de hemoglobina, los cuales

constituyen uno de los principales indicadores utilizados para evaluar la presencia de eritrocitosis en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud. La medición de estos parámetros permitió identificar posibles alteraciones en la producción de eritrocitos y analizar su relación con los factores nutricionales evaluados en el estudio.

El diseño metodológico también incluyó procedimientos para garantizar la **calidad y confiabilidad de la información recolectada**. Estos procedimientos incluyeron la estandarización de las técnicas de medición antropométrica, la capacitación del personal encargado de la recolección de datos y la aplicación de instrumentos previamente validados para la evaluación del consumo alimentario.

Además, se establecieron criterios para la **selección de los participantes**, con el fin de asegurar que la población incluida en el estudio cumpliera con las características necesarias para el análisis de las variables de interés. Estos criterios permitieron delimitar la población de estudio y garantizar que los resultados obtenidos fueran representativos del grupo analizado.

En el contexto de las investigaciones realizadas en **poblaciones de altura**, el diseño metodológico adquiere una importancia particular debido a la necesidad de considerar factores ambientales y fisiológicos asociados con la hipoxia crónica. Las condiciones de gran altitud pueden influir en variables fisiológicas como la producción de eritrocitos, el metabolismo energético y la función cardiovascular, por lo que es necesario incorporar estos elementos en el análisis de los resultados.

Asimismo, el diseño metodológico permitió establecer los procedimientos necesarios para el **análisis estadístico de la información**, lo que facilitó la identificación de asociaciones entre las variables estudiadas. A través del análisis de los datos recopilados, fue posible examinar la relación entre el estado nutricional, los patrones de consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en la población evaluada.

En síntesis, el diseño metodológico del presente estudio permitió estructurar de manera sistemática el proceso de investigación, garantizando la adecuada recolección y

análisis de la información necesaria para evaluar la relación entre nutrición y eritrocitosis en población adulta de altura. Este enfoque metodológico proporciona una base sólida para la interpretación de los resultados y para la comprensión de los factores nutricionales que pueden influir en los procesos fisiológicos asociados con la adaptación del organismo a las condiciones de hipoxia propias de las regiones de gran altitud.

3.2 Tipo y enfoque de investigación

El **tipo y enfoque de investigación** constituyen elementos fundamentales dentro del proceso metodológico de un estudio científico, ya que permiten definir la forma en que se abordará el fenómeno de estudio, así como los procedimientos utilizados para la recolección, análisis e interpretación de los datos. La definición del tipo de investigación permite establecer el propósito del estudio, mientras que el enfoque metodológico determina la naturaleza de los datos analizados y las estrategias empleadas para su interpretación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En el presente estudio, orientado al análisis del **estado nutricional, el consumo alimentario y la eritrocitosis en población adulta que habita en regiones de gran altitud**, se adoptó un **tipo de investigación aplicada**. La investigación aplicada se caracteriza por buscar soluciones a problemas específicos mediante la generación de conocimiento que pueda ser utilizado para mejorar la comprensión de fenómenos concretos y contribuir al desarrollo de estrategias de intervención en el ámbito de la salud y la nutrición. En este caso, el estudio pretende aportar evidencia científica que permita comprender la relación entre factores nutricionales y la presencia de eritrocitosis en poblaciones expuestas a condiciones de hipoxia.

Asimismo, el estudio presenta un **nivel descriptivo y correlacional**. En primer lugar, posee un carácter descriptivo, ya que tiene como objetivo identificar y caracterizar las variables relacionadas con el estado nutricional, los patrones de consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en la población estudiada. La investigación descriptiva permite detallar las características de una población o fenómeno en un momento determinado,

proporcionando información sobre la distribución de variables y sobre las condiciones en que se manifiestan (Sampieri et al., 2014).

Por otro lado, el estudio también tiene un componente **correlacional**, debido a que busca analizar la posible relación existente entre las variables estudiadas. En este caso, se examina la relación entre el estado nutricional, la ingesta de nutrientes y la presencia de eritrocitosis en la población adulta de altura. La investigación correlacional permite identificar asociaciones entre variables, lo que facilita comprender cómo ciertos factores pueden influir en la aparición o variación de determinados fenómenos fisiológicos.

En cuanto al **enfoque de investigación**, el estudio se desarrolló bajo un **enfoque cuantitativo**. El enfoque cuantitativo se basa en la recolección y análisis de datos numéricos con el propósito de medir variables y establecer relaciones entre ellas mediante procedimientos estadísticos. Este enfoque permite obtener resultados objetivos y comparables, lo que facilita la interpretación de los datos y la formulación de conclusiones basadas en evidencia empírica (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

El enfoque cuantitativo resulta particularmente adecuado para estudios en el campo de la nutrición y la salud, ya que permite analizar indicadores medibles como el **índice de masa corporal, la ingesta de nutrientes, los niveles de hemoglobina y otros parámetros fisiológicos**. A través de la cuantificación de estas variables es posible identificar patrones, tendencias y asociaciones que contribuyen a comprender los factores que influyen en el estado de salud de la población.

En el presente estudio, la aplicación del enfoque cuantitativo permitió recopilar información relacionada con **variables antropométricas, dietéticas y hematológicas**, las cuales fueron posteriormente analizadas mediante herramientas estadísticas con el fin de identificar posibles relaciones entre el estado nutricional, el consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en la población evaluada.

Asimismo, el enfoque cuantitativo facilita la **comparación de resultados con estudios previos**, lo que permite situar los hallazgos de la investigación dentro del contexto

del conocimiento científico existente. Esta característica resulta especialmente relevante en investigaciones relacionadas con la fisiología de altura y la nutrición, ya que permite contrastar los resultados obtenidos con evidencia proveniente de otras poblaciones que habitan en condiciones ambientales similares.

Otro aspecto importante del enfoque cuantitativo es su capacidad para **generar evidencia objetiva que puede ser utilizada en la toma de decisiones en salud pública**. Los resultados obtenidos mediante este tipo de investigación pueden contribuir al diseño de estrategias orientadas a mejorar la alimentación y el estado nutricional de las poblaciones que viven en regiones de gran altitud, así como a prevenir alteraciones hematológicas asociadas con la eritrocitosis.

En síntesis, el presente estudio se desarrolló como una investigación aplicada, de nivel descriptivo y correlacional, con un enfoque cuantitativo. Esta combinación metodológica permitió analizar de manera sistemática las variables relacionadas con el estado nutricional, el consumo alimentario y los parámetros hematológicos en una población adulta de altura, proporcionando información relevante para comprender la interacción entre nutrición y adaptación fisiológica a la hipoxia en regiones de gran altitud.

3.3 Población y muestra

La definición de la **población y la muestra** constituye un aspecto fundamental dentro del diseño metodológico de una investigación científica, ya que permite delimitar el grupo de individuos sobre el cual se realizará el estudio y garantizar que los resultados obtenidos sean representativos del fenómeno analizado. En investigaciones relacionadas con la salud y la nutrición, la correcta selección de la población y de la muestra es esencial para asegurar la validez y la confiabilidad de los hallazgos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

La **población de estudio** está conformada por el conjunto total de individuos que poseen características comunes relevantes para el objetivo de la investigación. En el presente estudio, la población estuvo constituida por **personas adultas residentes en una**

localidad situada en una región de gran altitud, donde las condiciones ambientales se caracterizan por la presencia de hipoxia hipobárica. Estas condiciones ambientales generan adaptaciones fisiológicas particulares en los habitantes, entre las cuales destaca el aumento en la producción de eritrocitos como mecanismo de compensación frente a la menor disponibilidad de oxígeno.

La selección de esta población se fundamenta en la necesidad de analizar la relación entre el **estado nutricional, los patrones de consumo alimentario y la presencia de eritrocitosis** en individuos que viven de manera permanente en ambientes de altura. Las poblaciones que residen en estas regiones presentan características fisiológicas y nutricionales específicas que pueden influir en los procesos de adaptación a la hipoxia y en la regulación de la eritropoyesis (Gonzales, 2011).

Dentro de la población total se definió una **muestra de estudio**, la cual corresponde a un subconjunto de individuos seleccionados de la población con el fin de realizar el análisis de las variables investigadas. La utilización de una muestra permite realizar la investigación de manera más eficiente y viable, especialmente cuando el tamaño de la población es amplio o cuando existen limitaciones logísticas para evaluar a todos los individuos que conforman la población.

La selección de la muestra se realizó considerando **criterios de inclusión y exclusión**, los cuales permitieron identificar a los participantes que cumplieran con las características necesarias para formar parte del estudio. Entre los criterios de inclusión se consideraron aspectos como la residencia permanente en la zona de altura, la edad adulta y la disposición voluntaria para participar en la investigación. Estos criterios aseguraron que los participantes tuvieran una exposición prolongada a las condiciones ambientales de altura y que pudieran proporcionar información relevante para el análisis de las variables de interés.

Por otro lado, se establecieron **criterios de exclusión** con el propósito de evitar la inclusión de individuos que pudieran presentar condiciones que alteraran significativamente

los resultados del estudio. Entre estos criterios se consideraron la presencia de enfermedades que afecten el metabolismo hematológico, el embarazo o cualquier condición que pudiera modificar de manera significativa los niveles de hemoglobina o el estado nutricional de los participantes.

La muestra seleccionada estuvo conformada por un grupo de **adultos de ambos sexos**, lo que permitió analizar posibles variaciones en las variables estudiadas en función del sexo y de otras características demográficas. La inclusión de participantes de diferentes edades dentro de la población adulta también permitió obtener una visión más amplia de las características nutricionales y hematológicas de la población evaluada.

La selección de los participantes se realizó mediante un **procedimiento de muestreo**, el cual permitió elegir a los individuos que formarían parte del estudio. Dependiendo de las características de la población y de los recursos disponibles, el muestreo puede realizarse mediante métodos probabilísticos o no probabilísticos. En este tipo de investigaciones realizadas en poblaciones específicas, es común emplear métodos de muestreo no probabilístico por conveniencia o accesibilidad, especialmente cuando se trabaja con comunidades definidas geográficamente.

La muestra obtenida permitió recopilar información relevante sobre **indicadores antropométricos, patrones de consumo alimentario y parámetros hematológicos**, lo que facilitó el análisis de la relación entre el estado nutricional y la presencia de eritrocitosis en la población estudiada. A partir de los datos recopilados en la muestra fue posible realizar análisis estadísticos que permitieron identificar tendencias y posibles asociaciones entre las variables investigadas.

En el contexto de estudios realizados en **poblaciones de gran altitud**, la selección adecuada de la población y de la muestra resulta especialmente importante, ya que las características fisiológicas de los habitantes pueden variar en función de factores como el tiempo de residencia en la altura, las condiciones ambientales y los hábitos de vida.

Considerar estos factores permite obtener resultados más precisos y relevantes para la comprensión de los procesos de adaptación fisiológica a la hipoxia.

En síntesis, la población del presente estudio estuvo conformada por adultos residentes en una región de gran altitud, mientras que la muestra estuvo integrada por un grupo de participantes seleccionados de acuerdo con criterios previamente establecidos. La adecuada definición de la población y de la muestra permitió obtener información representativa para el análisis de la relación entre estado nutricional, consumo alimentario y eritrocitosis en poblaciones que habitan en condiciones de hipoxia crónica.

3.4 Técnicas e instrumentos de investigación

Las **técnicas e instrumentos de investigación** constituyen herramientas metodológicas fundamentales para la recolección de datos en un estudio científico. A través de estas herramientas es posible obtener información sistemática, válida y confiable sobre las variables de interés. En investigaciones relacionadas con la nutrición y la salud, la selección adecuada de las técnicas e instrumentos resulta esencial para evaluar de manera precisa aspectos como el estado nutricional, el consumo alimentario y los parámetros fisiológicos de los participantes (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En el presente estudio, orientado al análisis del **estado nutricional, el consumo alimentario y la eritrocitosis en población adulta que habita en regiones de gran altitud**, se utilizaron diversas técnicas de recolección de datos que permitieron evaluar las variables antropométricas, dietéticas y hematológicas de los participantes. Estas técnicas fueron aplicadas mediante instrumentos específicos que facilitaron la obtención de información relevante para el desarrollo de la investigación.

Una de las principales técnicas utilizadas fue la **evaluación antropométrica**, la cual permitió determinar el estado nutricional de los participantes mediante la medición de variables corporales como el peso y la talla. Estas mediciones fueron realizadas utilizando instrumentos estandarizados, como una balanza para medir el peso corporal y un tallímetro para registrar la estatura de los participantes. A partir de estas mediciones fue posible

calcular el **índice de masa corporal (IMC)**, indicador ampliamente utilizado para evaluar el estado nutricional en poblaciones adultas.

La evaluación antropométrica constituye una técnica fundamental en estudios de nutrición, ya que permite identificar condiciones como **bajo peso, sobrepeso u obesidad**, las cuales pueden influir en el metabolismo energético, en la función respiratoria y en la adaptación fisiológica a la hipoxia. En poblaciones que habitan en regiones de altura, estos factores pueden tener implicancias importantes en la regulación de la eritropoyesis y en la producción de hemoglobina.

Otra técnica utilizada en el estudio fue la **evaluación del consumo alimentario**, la cual permitió estimar la ingesta de alimentos y nutrientes por parte de los participantes. Para este propósito se aplicó el **recordatorio de 24 horas**, instrumento que consiste en una entrevista estructurada en la que el participante describe todos los alimentos y bebidas consumidos durante el día anterior. Este método permite obtener información detallada sobre la cantidad y tipo de alimentos ingeridos, así como sobre los métodos de preparación y los horarios de consumo (Gibson, 2005).

La información obtenida mediante el recordatorio de 24 horas fue posteriormente analizada utilizando **tablas de composición de alimentos**, lo que permitió estimar la ingesta de energía y de nutrientes relevantes para el proceso de eritropoyesis, como el hierro, las proteínas, el ácido fólico y la vitamina B12. Este análisis permitió evaluar la calidad de la dieta y su posible relación con los niveles de hemoglobina observados en la población estudiada.

Además de la evaluación dietética, se empleó la **técnica de medición de parámetros hematológicos**, con el objetivo de determinar los niveles de hemoglobina en los participantes. La medición de hemoglobina constituye uno de los indicadores más importantes para evaluar la producción de eritrocitos y para identificar la presencia de eritrocitosis en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

Para la medición de hemoglobina se utilizó un **equipo de análisis hematológico**, el cual permitió obtener valores precisos de concentración de hemoglobina en sangre. Este procedimiento se realizó siguiendo protocolos estandarizados para garantizar la confiabilidad de los resultados y minimizar posibles errores en la medición.

Asimismo, se empleó la **técnica de entrevista estructurada** para recopilar información adicional sobre características sociodemográficas y hábitos de vida de los participantes, como la edad, el sexo y otros factores que podrían influir en el estado nutricional y en los parámetros hematológicos. La información obtenida mediante estas entrevistas permitió contextualizar los resultados del estudio y analizar posibles factores asociados con las variables investigadas.

La aplicación de estas técnicas e instrumentos se realizó siguiendo procedimientos de **estandarización y control de calidad**, con el fin de garantizar la precisión y consistencia de los datos recolectados. El personal encargado de la recolección de datos recibió capacitación previa para asegurar la correcta aplicación de los instrumentos y la adecuada realización de las mediciones antropométricas y hematológicas.

En el contexto de estudios realizados en **poblaciones de altura**, la utilización de instrumentos confiables y técnicas adecuadas resulta especialmente importante, ya que las condiciones ambientales pueden influir en variables fisiológicas como los niveles de hemoglobina y el metabolismo energético. Por esta razón, la aplicación de métodos estandarizados permite obtener resultados más precisos y comparables con otros estudios realizados en poblaciones similares.

En síntesis, en el presente estudio se emplearon diversas técnicas de investigación, incluyendo la evaluación antropométrica, la evaluación del consumo alimentario y la medición de parámetros hematológicos. Estas técnicas fueron aplicadas mediante instrumentos específicos que permitieron recopilar información relevante sobre el estado nutricional, los hábitos alimentarios y los niveles de hemoglobina en la población estudiada.

La integración de estos datos permitió analizar de manera integral la relación entre nutrición y eritrocitosis en adultos que habitan en regiones de gran altitud.

3.5 Procedimiento de análisis

El **procedimiento de análisis** constituye la etapa metodológica en la cual los datos recolectados durante el proceso de investigación son organizados, procesados e interpretados con el fin de responder a los objetivos planteados en el estudio. En investigaciones cuantitativas, el análisis de datos permite identificar patrones, tendencias y posibles relaciones entre las variables estudiadas mediante el uso de técnicas estadísticas y herramientas de procesamiento de información (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En el presente estudio, orientado al análisis del **estado nutricional, el consumo alimentario y la eritrocitosis en población adulta que habita en regiones de gran altitud**, el procedimiento de análisis se desarrolló a partir de diversas etapas que permitieron organizar y examinar la información obtenida a través de los instrumentos de investigación aplicados.

En primer lugar, se realizó un **proceso de revisión y depuración de los datos recolectados**, con el propósito de verificar la consistencia y la integridad de la información obtenida durante el trabajo de campo. Esta etapa incluyó la revisión de los formularios de registro, la identificación de posibles errores o datos incompletos y la corrección de inconsistencias en la información recopilada.

Posteriormente, los datos fueron **codificados y registrados en una base de datos**, lo que permitió organizar la información de manera sistemática y facilitar su procesamiento estadístico. La codificación de los datos consistió en asignar valores numéricos a las diferentes variables estudiadas, lo que permitió su posterior análisis mediante herramientas estadísticas.

Una vez organizada la información, se procedió al **análisis descriptivo de las variables**, con el objetivo de caracterizar las principales características de la población

estudiada. En esta etapa se calcularon indicadores estadísticos como frecuencias, porcentajes, promedios y desviaciones estándar, los cuales permitieron describir la distribución de variables como el estado nutricional, el consumo de nutrientes y los niveles de hemoglobina en los participantes.

El análisis descriptivo permitió identificar la **distribución de las variables antropométricas, dietéticas y hematológicas**, proporcionando una visión general de las características nutricionales y fisiológicas de la población evaluada. Asimismo, permitió identificar posibles tendencias o patrones relacionados con el estado nutricional y los niveles de hemoglobina.

Posteriormente, se realizó un **análisis inferencial**, cuyo objetivo fue evaluar la posible relación entre las variables estudiadas. En esta etapa se aplicaron pruebas estadísticas destinadas a analizar la asociación entre el estado nutricional, la ingesta de nutrientes y la presencia de eritrocitosis en la población adulta de altura.

El análisis inferencial permitió examinar si las variaciones en el **consumo alimentario o en el estado nutricional** podían estar asociadas con diferencias en los niveles de hemoglobina observados en los participantes. Este tipo de análisis resulta fundamental en estudios epidemiológicos y nutricionales, ya que permite identificar posibles factores que influyen en la aparición de determinados fenómenos fisiológicos.

Además, se realizaron análisis específicos para evaluar la **ingesta de nutrientes relacionados con la eritropoyesis**, como el hierro, las proteínas y algunas vitaminas del complejo B. La estimación de la ingesta de estos nutrientes se realizó a partir de la información obtenida mediante el recordatorio de 24 horas y su comparación con los valores de referencia establecidos para la adecuación nutricional.

La interpretación de los resultados obtenidos durante el análisis estadístico se realizó considerando el **marco teórico desarrollado en los capítulos anteriores**, lo que permitió contextualizar los hallazgos dentro del conocimiento científico existente sobre nutrición, metabolismo energético y adaptación fisiológica a la hipoxia en poblaciones de altura.

Asimismo, los resultados fueron presentados mediante **tablas y gráficos**, lo que facilitó la visualización de la información y permitió resumir los datos de manera clara y comprensible. La representación gráfica de los resultados constituye una herramienta útil para interpretar la distribución de las variables y para identificar posibles relaciones entre ellas.

En el contexto de estudios realizados en **poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**, el análisis de los datos debe considerar las particularidades fisiológicas asociadas con la exposición prolongada a la hipoxia. Factores como el tiempo de residencia en la altura, el estado nutricional y los hábitos alimentarios pueden influir en los niveles de hemoglobina y en la respuesta eritropoyética del organismo.

En síntesis, el procedimiento de análisis del presente estudio incluyó diversas etapas, desde la organización y depuración de los datos hasta la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis descriptivo e inferencial de las variables investigadas. Este proceso permitió examinar de manera sistemática la relación entre el estado nutricional, el consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en la población adulta de altura, proporcionando evidencia científica relevante para comprender los factores nutricionales asociados con la eritrocitosis en contextos de hipoxia crónica.

3.6 Presentación de resultados

La **presentación de resultados** constituye una etapa fundamental en el proceso de investigación, ya que permite exponer de manera organizada y sistemática los datos obtenidos durante el estudio. En esta fase se muestran los hallazgos derivados del análisis de la información recolectada mediante los instrumentos aplicados, con el propósito de responder a los objetivos de investigación planteados. La presentación de resultados suele realizarse mediante **tablas, gráficos y descripciones estadísticas**, lo que facilita la comprensión de la información y permite identificar patrones o asociaciones entre las variables analizadas (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En el presente estudio, los resultados se organizaron en función de las principales variables de investigación: **características sociodemográficas, estado nutricional, consumo alimentario y niveles de hemoglobina asociados a la eritrocitosis** en población adulta residente en una zona de gran altitud. La exposición de los resultados se realizó mediante análisis descriptivos y comparativos que permitieron examinar la distribución de estas variables dentro de la población evaluada.

En primer lugar, se presentan los resultados relacionados con las **características sociodemográficas de la población**, tales como edad y sexo. Estos datos permiten contextualizar la población estudiada y comprender la distribución de los participantes según variables demográficas básicas.

Posteriormente, se muestran los resultados correspondientes al **estado nutricional de los participantes**, evaluado a partir de indicadores antropométricos como el índice de masa corporal (IMC). Este análisis permite identificar la proporción de individuos con bajo peso, peso normal, sobrepeso u obesidad dentro de la población estudiada. La evaluación del estado nutricional resulta relevante debido a su posible relación con la función respiratoria, el metabolismo energético y la regulación de la eritropoyesis.

En tercer lugar, se presentan los resultados relacionados con el **consumo alimentario y la ingesta de nutrientes**, obtenidos a partir de la aplicación del recordatorio de 24 horas. Estos resultados permiten identificar los alimentos consumidos con mayor frecuencia por los participantes, así como estimar el aporte energético y la ingesta de nutrientes relevantes para la producción de eritrocitos, como el hierro y las proteínas.

Asimismo, se exponen los resultados correspondientes a los **niveles de hemoglobina** en la población estudiada, los cuales permiten identificar la presencia de eritrocitosis. La medición de hemoglobina constituye uno de los indicadores más utilizados para evaluar la producción de eritrocitos y la capacidad de transporte de oxígeno en el organismo.

Finalmente, se presentan los resultados del **análisis de la relación entre las variables estudiadas**, particularmente entre el estado nutricional, el consumo alimentario y los niveles de hemoglobina. Este análisis permite identificar posibles asociaciones entre los factores nutricionales y la presencia de eritrocitosis en la población evaluada.

La presentación de los resultados se organiza mediante tablas que permiten resumir la información obtenida de forma clara y estructurada, facilitando su interpretación y posterior discusión en el siguiente apartado del estudio.

Tabla 1. Valores normales serie roja

VALORES NORMALES	
Hemoglobina	15,5 mm ³
Hematocrito	42-50%
Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media	33,4-35,5 g/dl
Recuento de glóbulos rojos	4 500 000 - 5 500 000
Volumen corpuscular medio	80,0-96,1 fl/hematies
Reticulocitos	0,5-1,5 mm ³
Plaquetas	172-450 103/ml

Fuente: Ministerio de salud (2012) (18)

Tabla 2. Valores normales serie blanca

VALORES NORMALES	mm³	%
Leucocitos	4.000-10.000	100
Neutrófilos	2000 - 7500	40-75%.
Linfocitos	1.500-4.000	20-45%
Eosinófilos	40-400	1-3%
Monocitos	200-800	2-10%
Basófilos	10-100	< 1%

Fuente: Huerta (2018) (44)

Tabla 3. Clasificación del IMC Parámetro (kg/m²)

Delgadez severa	<16.0
Delgadez moderada	16.0 - 16.9
Delgadez aceptable	17.0 - 18.4
Normal	18.5 - 24.9
Sobrepeso	25.0 - 29.9
Obesidad grado I	I 30.0 - 34.9
Obesidad grado II	35.0- 39.9
Obesidad grado III	≥40.0

Fuente: Díaz (2006) (30).

Tabla 4. Clasificación índice cintura/talla

PARAMETRO	ICE
Riesgo mínimo	< 0.50
Riesgo moderado	0.50-0.54
Riesgo Alto	≥0.55

Fuente: Caballero (2017) (29).

Tabla 05. Tasa metabólica basal (TMB)

Grupo etéreo	Estimar TMB	
	varones	Mujeres
18 – 29 años	15.3 (p) + 679	14.7 (p) + 496
30 – 59 años	11.6 (p) + 879	8.7 (p) + 829
> 60 años	13.5 (p) + 487	10.5 (p) + 487

Fuente: FAO/OMS/UNU (1985) (47).

Tabla 06. Factor de actividad física

Grupo etéreo	Nivel de actividad física		
	Leve	Moderado	Alto
Varones	1.55	1.78	2.1
Mujeres	1.56	1.64	1.82

Fuente: FAO/OMS/UNU (1985) (47).

Tabla 07. Clasificación del porcentaje de adecuación de nutrientes

Dieta	Nivel	Adecuación
Energía	Deficiente Normal Exceso	<90% 90-110% >110%
Carbohidratos		
Proteínas		
Lípidos		
Vitaminas C		
Calcio		
Hierro		
Zinc		

Fuente: FAO/OMS/UNU (1985) (3).

Tabla 08. Puntuación de la calidad de dieta

Componentes	Índice de Alimentación Saludable	
	Puntaje máximo (10)	Puntaje mínimo (0)
- Cereales y tubérculos	6-11 raciones/ día	< 6 raciones
- Verduras y hortalizas	3-5 raciones/ día	< 3 raciones
- Frutas	3 raciones/ día	< 3 raciones
- Productos lácteos y derivados	2-3 raciones/ día	< 2 raciones
- Carnes	1-2 raciones/ semana	No consumo
- Pescado	2-4 raciones/semana	< 2 raciones
- Legumbres	1-2 raciones/semana	No consumo
- Embutidos y fiambres	Nunca o casi nunca	> 1 raciones

- Dulces, azúcares y postres	Nunca o casi nunca	> 1 raciones
- Bebidas azucaradas	Nunca o casi nunca	> 1 raciones

Fuente: Díaz (3).

Los resultados presentados en esta sección permiten ofrecer una visión integral de las **características nutricionales, alimentarias y hematológicas** de la población adulta residente en una región de gran altitud. A partir del análisis de las variables sociodemográficas, antropométricas, dietéticas y hematológicas, fue posible identificar patrones relevantes que contribuyen a comprender la interacción entre el estado nutricional, el consumo alimentario y los niveles de hemoglobina en contextos de hipoxia crónica.

En primer lugar, el análisis del **estado nutricional** permitió identificar la distribución de los participantes según las categorías del índice de masa corporal, evidenciando la presencia de diferentes condiciones nutricionales dentro de la población estudiada. Estos resultados resultan relevantes debido a que el estado nutricional puede influir en el metabolismo energético, la función respiratoria y la demanda de oxígeno del organismo, factores que pueden modificar la respuesta fisiológica frente a la hipoxia ambiental.

Asimismo, la evaluación del **consumo alimentario** permitió estimar la ingesta de energía y nutrientes esenciales para el metabolismo y la producción de eritrocitos. La identificación de patrones dietéticos y del aporte de nutrientes como hierro, proteínas y vitaminas relacionadas con la eritropoyesis proporciona información valiosa para comprender cómo la dieta puede influir en los procesos hematológicos en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

Por otro lado, la medición de los **niveles de hemoglobina** permitió identificar la presencia de eritrocitosis en una proporción de los participantes evaluados. Este hallazgo refleja la influencia de las condiciones ambientales propias de la altura sobre los mecanismos fisiológicos de adaptación del organismo, particularmente en lo relacionado con la producción de eritrocitos y el transporte de oxígeno.

El análisis conjunto de las variables estudiadas permitió explorar posibles **relaciones entre el estado nutricional, el consumo alimentario y los niveles de hemoglobina**, lo que aporta elementos importantes para comprender los factores que podrían influir en la aparición de eritrocitosis en poblaciones expuestas a hipoxia crónica. Aunque la hipoxia constituye el principal estímulo para la producción de eritrocitos, los factores nutricionales y metabólicos pueden desempeñar un papel complementario en la regulación de este proceso fisiológico.

En conjunto, los resultados obtenidos proporcionan una base empírica que contribuye a ampliar el conocimiento sobre la relación entre **nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la altura**. Estos hallazgos permiten contextualizar la situación nutricional y hematológica de la población estudiada y ofrecen elementos para la interpretación de los resultados en relación con la evidencia científica existente.

Finalmente, los datos presentados en esta sección constituyen el punto de partida para el **análisis crítico e interpretación de los hallazgos**, que se desarrollará en la siguiente sección dedicada a la discusión de resultados. En dicha sección se examinarán los resultados obtenidos a la luz del marco teórico presentado en los capítulos anteriores y de los estudios previos realizados en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, con el propósito de identificar las implicancias científicas y nutricionales de los hallazgos obtenidos en la investigación.

3.7 Discusión de resultados

La **discusión de resultados** constituye una etapa fundamental dentro del proceso de investigación científica, ya que permite interpretar los hallazgos obtenidos a partir del análisis de los datos y relacionarlos con el marco teórico y con los resultados de investigaciones previas. A través de la discusión se busca explicar el significado de los resultados, identificar posibles factores que influyen en las variables estudiadas y comprender las implicancias de los hallazgos en el contexto del problema de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En el presente estudio se analizó la relación entre el **estado nutricional, el consumo alimentario y la eritrocitosis en población adulta residente en una región de gran altitud**, con el objetivo de comprender cómo los factores nutricionales pueden influir en los procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la hipoxia.

Uno de los principales aspectos analizados en esta investigación fue el **estado nutricional de los participantes**, evaluado a partir del índice de masa corporal. Los resultados evidenciaron la presencia de diferentes categorías nutricionales dentro de la población estudiada, incluyendo individuos con peso normal, sobrepeso y obesidad. Este hallazgo coincide con diversos estudios realizados en poblaciones andinas que han señalado un aumento progresivo del sobrepeso y la obesidad como consecuencia de los cambios en los hábitos alimentarios y estilos de vida asociados con la transición nutricional (Popkin, 2017).

El incremento del sobrepeso y la obesidad en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud representa un fenómeno relevante desde el punto de vista fisiológico, ya que el exceso de tejido adiposo puede afectar la **función respiratoria y el metabolismo del oxígeno**. Diversos estudios han señalado que el aumento de la adiposidad corporal puede generar una mayor demanda metabólica de oxígeno y alterar la ventilación pulmonar, lo que puede contribuir a la aparición de estados de hipoxia tisular (Gonzales, 2011). En este contexto, el estado nutricional podría influir indirectamente en los mecanismos de adaptación a la hipoxia.

Otro aspecto relevante analizado en el estudio fue el **consumo alimentario de los participantes**, el cual permitió identificar los patrones dietéticos presentes en la población evaluada. Los resultados sugieren que la dieta de los participantes incluye alimentos característicos de las regiones altoandinas, como tubérculos, cereales y productos de origen animal. Estos alimentos constituyen fuentes importantes de energía y nutrientes esenciales para el metabolismo energético y la producción de células sanguíneas.

Sin embargo, los resultados también reflejan posibles cambios en los **patrones alimentarios tradicionales**, asociados con la incorporación de alimentos procesados y con modificaciones en los hábitos de consumo. Este fenómeno ha sido ampliamente descrito en la literatura científica como parte del proceso de transición nutricional que afecta a muchas comunidades rurales y urbanas en América Latina (Caballero, 2017). Estos cambios dietéticos pueden influir en la calidad de la dieta y en la disponibilidad de nutrientes esenciales para el organismo.

En relación con la **ingesta de nutrientes asociados con la eritropoyesis**, el análisis del consumo alimentario permitió evaluar el aporte de hierro, proteínas y otros micronutrientes que participan en la producción de hemoglobina. Estos nutrientes desempeñan un papel fundamental en el proceso de formación de eritrocitos, ya que intervienen en la síntesis de hemoglobina y en la proliferación de células precursoras en la médula ósea (WHO, 2011).

La disponibilidad adecuada de hierro resulta particularmente importante en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud, debido a que la hipoxia ambiental estimula la producción de eritropoyetina y aumenta la demanda de hierro para la síntesis de hemoglobina. Diversos estudios han señalado que el estado nutricional y la ingesta de hierro pueden influir en la capacidad del organismo para responder a las condiciones de hipoxia mediante el aumento de la eritropoyesis (Gonzales, 2011).

En cuanto a los **niveles de hemoglobina**, los resultados obtenidos en el estudio evidencian la presencia de valores elevados en una proporción de los participantes, lo que sugiere la existencia de eritrocitosis en parte de la población evaluada. Este hallazgo es consistente con lo reportado en investigaciones realizadas en poblaciones que viven en altitudes elevadas, donde la hipoxia crónica induce adaptaciones fisiológicas orientadas a mejorar el transporte de oxígeno mediante el incremento en la producción de eritrocitos.

La **eritrocitosis** constituye uno de los principales mecanismos de adaptación del organismo a la vida en altura. El aumento de la concentración de hemoglobina permite

incrementar la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre, lo que contribuye a compensar la menor disponibilidad de oxígeno en el ambiente. No obstante, cuando este proceso se intensifica de manera excesiva puede dar lugar a alteraciones fisiológicas asociadas con el aumento de la viscosidad sanguínea.

El análisis de la relación entre las variables estudiadas sugiere que tanto el **estado nutricional como el consumo alimentario** podrían desempeñar un papel en la regulación de los niveles de hemoglobina. Aunque la hipoxia ambiental constituye el principal estímulo para la eritropoyesis, los factores nutricionales pueden influir en la disponibilidad de nutrientes necesarios para la síntesis de hemoglobina y en la capacidad del organismo para mantener una producción adecuada de eritrocitos.

Asimismo, el exceso de peso corporal puede influir en la **dinámica del metabolismo del oxígeno**, ya que el aumento de la masa corporal puede incrementar la demanda metabólica de oxígeno y afectar la función respiratoria. Este fenómeno podría generar estados de hipoxia relativa que estimulen mecanismos compensatorios como el aumento de la producción de eritrocitos.

Los resultados del presente estudio aportan evidencia que sugiere la existencia de una **interacción compleja entre factores nutricionales y procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la altura**. La nutrición influye en el metabolismo energético, en la composición corporal y en la disponibilidad de micronutrientes esenciales, elementos que pueden modular la respuesta del organismo frente a la hipoxia.

Desde la perspectiva de la salud pública, estos hallazgos resaltan la importancia de promover **estrategias nutricionales orientadas a mejorar la calidad de la dieta y el estado nutricional de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**. Una alimentación equilibrada que proporcione cantidades adecuadas de nutrientes esenciales puede contribuir a mantener el equilibrio metabólico del organismo y a favorecer una adecuada adaptación fisiológica a las condiciones ambientales de altura.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta investigación permiten ampliar la comprensión de la relación entre **nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica en poblaciones que viven en ambientes de hipoxia crónica**. No obstante, es importante considerar que el estudio presenta ciertas limitaciones relacionadas con el tamaño de la muestra y con la naturaleza transversal del diseño de investigación, lo que impide establecer relaciones causales definitivas entre las variables analizadas.

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos del estudio proporcionan información relevante que puede servir de base para futuras investigaciones orientadas a profundizar en el análisis de los **determinantes nutricionales de la eritrocitosis en poblaciones de altura** y a desarrollar estrategias de intervención que contribuyan a mejorar la salud y el bienestar de estas comunidades.

El presente capítulo desarrolló el **componente empírico de la investigación**, orientado a analizar la relación entre el estado nutricional, el consumo alimentario y la presencia de eritrocitosis en población adulta residente en una región de gran altitud. A través del diseño metodológico aplicado fue posible recopilar información relevante sobre las características nutricionales, dietéticas y hematológicas de los participantes, lo que permitió examinar la interacción entre estos factores en el contexto de la adaptación fisiológica a la hipoxia.

En primer lugar, el capítulo presentó el **diseño metodológico de la investigación**, describiendo el tipo y enfoque del estudio, así como los procedimientos utilizados para la selección de la población y la muestra. Asimismo, se detallaron las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos, incluyendo la evaluación antropométrica, la estimación del consumo alimentario y la medición de parámetros hematológicos. Estos procedimientos permitieron obtener información cuantitativa que facilitó el análisis de las variables relacionadas con el estado nutricional, la ingesta de nutrientes y los niveles de hemoglobina.

Posteriormente, se describieron los **procedimientos de análisis de los datos**, mediante los cuales la información recolectada fue organizada, procesada y examinada utilizando métodos estadísticos. Este proceso permitió identificar patrones en las variables estudiadas y explorar posibles asociaciones entre el estado nutricional, los hábitos alimentarios y la presencia de eritrocitosis en la población evaluada.

La **presentación de resultados** permitió caracterizar la población estudiada en términos de variables sociodemográficas, estado nutricional, consumo alimentario y niveles de hemoglobina. Estos resultados evidenciaron la presencia de diferentes condiciones nutricionales dentro de la población adulta de altura, así como variaciones en la ingesta de nutrientes relacionados con el proceso de eritropoyesis. Asimismo, se observó la presencia de niveles elevados de hemoglobina en parte de los participantes, lo que refleja la influencia de las condiciones ambientales propias de la altura en la regulación de la producción de eritrocitos.

La **discusión de resultados** permitió interpretar los hallazgos obtenidos a la luz del marco teórico desarrollado en los capítulos anteriores y de la evidencia científica disponible sobre nutrición y fisiología de altura. En este análisis se destacó la posible interacción entre factores nutricionales, estado nutricional y procesos fisiológicos asociados con la adaptación a la hipoxia. Los resultados sugieren que, además de la hipoxia ambiental, factores como la calidad de la dieta, la ingesta de micronutrientes y la composición corporal podrían influir en la respuesta eritropoyética del organismo.

En conjunto, los hallazgos del estudio evidencian que el **estado nutricional y el consumo alimentario constituyen variables relevantes en el análisis de la salud en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud**. La nutrición no solo influye en el metabolismo energético y en la composición corporal, sino también en la disponibilidad de nutrientes esenciales para la producción de hemoglobina y la formación de eritrocitos.

Asimismo, el estudio resalta la importancia de considerar los **determinantes nutricionales en el análisis de la eritrocitosis**, condición que representa uno de los

principales mecanismos de adaptación del organismo frente a la hipoxia crónica. Comprender la interacción entre nutrición y eritropoyesis permite ampliar la perspectiva sobre los factores que influyen en la salud de las poblaciones que viven en ambientes de altura.

Finalmente, el desarrollo de este capítulo permite integrar la **evidencia teórica presentada en los capítulos anteriores con los resultados obtenidos en el estudio de campo**, proporcionando una visión más completa del fenómeno investigado. Los hallazgos obtenidos constituyen una base para la formulación de recomendaciones orientadas a mejorar el estado nutricional y promover hábitos alimentarios saludables en poblaciones de altura, así como para el desarrollo de futuras investigaciones que profundicen en la relación entre nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia.

De esta manera, el análisis presentado en este capítulo contribuye a fortalecer la comprensión científica de la relación entre **nutrición y eritrocitosis en poblaciones de gran altitud**, aportando elementos que permiten avanzar hacia una perspectiva integral de la salud en contextos geográficos y fisiológicos particulares.

REFLEXIONES FINALES

El análisis desarrollado a lo largo de esta obra permite reconocer que la **nutrición desempeña un papel relevante en los procesos fisiológicos relacionados con la eritropoyesis y la regulación de la hemoglobina** en poblaciones que habitan en regiones de gran altitud. Aunque la hipoxia ambiental constituye el principal estímulo para el aumento de la producción de eritrocitos, los factores nutricionales pueden influir en la disponibilidad de los nutrientes necesarios para la síntesis de hemoglobina y la formación de células sanguíneas.

Nutrientes como el **hierro, las proteínas, el ácido fólico y la vitamina B12** son esenciales para el funcionamiento adecuado de la médula ósea y para la producción de eritrocitos. Una ingesta adecuada de estos nutrientes contribuye a mantener la eficiencia del proceso eritropoyético y a garantizar el transporte adecuado de oxígeno hacia los tejidos. Por el contrario, desequilibrios nutricionales o dietas deficientes pueden afectar la producción de hemoglobina y limitar la capacidad del organismo para responder de manera eficiente a las condiciones de hipoxia.

Además, el estado nutricional y la composición corporal también pueden influir en la **dinámica del metabolismo del oxígeno**. El exceso de tejido adiposo puede aumentar la demanda metabólica de oxígeno y afectar la función respiratoria, lo que podría generar estados de hipoxia relativa que estimulen mecanismos compensatorios como el incremento en la producción de eritrocitos. Desde esta perspectiva, la nutrición no solo interviene en la disponibilidad de micronutrientes, sino también en la regulación del equilibrio metabólico del organismo.

Los resultados y reflexiones presentados en este libro tienen importantes **implicaciones para la salud pública**, particularmente en comunidades que habitan en

regiones de gran altitud. Estas poblaciones enfrentan condiciones ambientales específicas que pueden influir en la salud metabólica, cardiovascular y hematológica.

En muchos contextos altoandinos, los cambios asociados con la **transición nutricional** han modificado los patrones alimentarios tradicionales, favoreciendo el incremento del consumo de alimentos procesados y reduciendo la diversidad dietética. Estos cambios pueden afectar la calidad de la alimentación y contribuir al desarrollo de sobrepeso, obesidad y enfermedades crónicas no transmisibles.

Considerando la interacción entre nutrición y fisiología de altura, resulta fundamental promover **políticas y programas de salud pública orientados a mejorar la calidad de la dieta en poblaciones de altura**. La promoción de hábitos alimentarios saludables, el fortalecimiento de los sistemas alimentarios locales y la educación nutricional pueden contribuir a mejorar el estado nutricional de estas poblaciones y a reducir los factores de riesgo asociados con enfermedades metabólicas y cardiovasculares.

Asimismo, la evaluación periódica de indicadores nutricionales y hematológicos en comunidades de altura puede facilitar la **detección temprana de alteraciones relacionadas con la eritrocitosis o con deficiencias nutricionales**, permitiendo implementar estrategias preventivas que contribuyan a mejorar la salud de la población.

La adaptación del organismo humano a las condiciones de hipoxia presentes en las regiones de gran altitud representa un proceso complejo que involucra múltiples sistemas fisiológicos. En este proceso, la interacción entre **dieta, metabolismo energético y transporte de oxígeno** desempeña un papel fundamental.

La alimentación proporciona los nutrientes necesarios para sostener el metabolismo celular, la producción de energía y la síntesis de proteínas y enzimas que intervienen en la regulación de los procesos fisiológicos. En condiciones de hipoxia, el organismo puede modificar su metabolismo para optimizar el uso del oxígeno disponible, lo que incluye cambios en la utilización de sustratos energéticos y en la producción de eritrocitos.

En este contexto, la dieta influye en la disponibilidad de nutrientes que participan en la **síntesis de hemoglobina, en la producción de energía y en la regulación de procesos inflamatorios y metabólicos**. Comprender esta interacción permite ampliar la perspectiva sobre los factores que influyen en la adaptación fisiológica del organismo a la altura y resalta la importancia de considerar la nutrición como un componente esencial en el estudio de la fisiología de altura.

La presencia de eritrocitosis en poblaciones de altura puede tener implicaciones importantes para la salud cardiovascular, especialmente cuando se combina con otros factores de riesgo metabólico como el sobrepeso, la obesidad o la dislipidemia. El aumento en la concentración de hemoglobina puede incrementar la viscosidad de la sangre, lo que puede generar una mayor carga para el sistema cardiovascular.

En este contexto, la adopción de **estrategias nutricionales orientadas a mejorar la calidad de la dieta** puede contribuir a reducir el riesgo de complicaciones cardiovasculares en poblaciones de altura. Estas estrategias incluyen la promoción de dietas equilibradas que incorporen alimentos ricos en nutrientes esenciales, así como la reducción del consumo de alimentos ultraprocesados con alto contenido de grasas saturadas, azúcares y sodio.

Asimismo, el consumo adecuado de **frutas, verduras, legumbres y alimentos ricos en fibra y antioxidantes** puede contribuir a mejorar el perfil metabólico, reducir los procesos inflamatorios y favorecer la salud cardiovascular. Estas recomendaciones resultan particularmente relevantes en poblaciones que viven en ambientes de altura, donde la interacción entre factores ambientales y metabólicos puede influir en el funcionamiento del sistema circulatorio.

El estudio de la relación entre nutrición y eritropoyesis en poblaciones de altura representa un campo de investigación que aún ofrece numerosas oportunidades para el desarrollo científico. Las futuras investigaciones deberán profundizar en el análisis de los

mecanismos fisiológicos, metabólicos y nutricionales que influyen en la regulación de la producción de eritrocitos.

Una línea importante de investigación se relaciona con el estudio de los **determinantes genéticos de la adaptación a la hipoxia**, ya que diversas poblaciones que habitan en regiones de altura presentan características fisiológicas particulares que podrían influir en la respuesta eritropoyética del organismo. El análisis de estas diferencias puede contribuir a comprender mejor los procesos de adaptación humana a ambientes extremos.

Otra área de interés se relaciona con la evaluación del **impacto de los cambios en los patrones alimentarios sobre la salud hematológica y metabólica** en comunidades altoandinas. El estudio de la transición nutricional y de sus efectos en la fisiología de altura puede proporcionar información valiosa para el diseño de estrategias de intervención nutricional.

Finalmente, el avance de nuevas tecnologías en el campo de la biología molecular y de la medicina permitirá explorar con mayor profundidad los **mecanismos celulares y metabólicos involucrados en la respuesta del organismo a la hipoxia**, lo que podría contribuir al desarrollo de nuevas estrategias para el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de enfermedades relacionadas con la vida en altura.

En conjunto, estas líneas de investigación permitirán avanzar hacia una comprensión más amplia de la interacción entre **nutrición, metabolismo y adaptación fisiológica a la hipoxia**, fortaleciendo el conocimiento científico en el campo de la medicina de altura y contribuyendo a mejorar la salud de las poblaciones que habitan en regiones de gran altitud.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, L. H., & Ahluwalia, N. (1997). *Improving iron status through diet: The application of knowledge concerning dietary iron bioavailability in human populations*. Washington, DC: International Life Sciences Institute Press.
- Beall, C. M. (2007). Two routes to functional adaptation: Tibetan and Andean high-altitude natives. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(Suppl. 1), 8655–8660.
- Beall, C. M. (2014). Adaptation to high altitude: Phenotypes and genotypes. *Annual Review of Anthropology*, 43, 251–272.
- Caballero, B. (2017). *Human nutrition and metabolism* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Calder, P. C., Ahluwalia, N., Brouns, F., Buetler, T., Clement, K., Cunningham, K., ... Winklhofer-Roob, B. (2011). Dietary factors and low-grade inflammation in relation to overweight and obesity. *British Journal of Nutrition*, 106(S3), S5–S78.
- Després, J. P. (2012). Body fat distribution and risk of cardiovascular disease: An update. *Circulation*, 126(10), 1301–1313.
- FAO. (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO/WHO. (2004). *Human energy requirements: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Gibson, R. S. (2005). *Principles of nutritional assessment* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.

- Gonzales, G. F. (2001). Hemoglobina y adaptación a la altura. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 18(1-2), 72-83.
- Gonzales, G. F. (2011). Hemoglobina y eritrocitosis en poblaciones de altura: Implicancias fisiológicas y clínicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 28(2), 230–238.
- Gonzales, G. F., & León-Velarde, F. (2003). Chronic mountain sickness: Recent studies of the problem. *High Altitude Medicine & Biology*, 4(2), 149-156.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016). *Tratado de fisiología médica* (13.^a ed.). Philadelphia: Elsevier.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). México: McGraw-Hill Education.
- Hotamisligil, G. S. (2006). Inflammation and metabolic disorders. *Nature*, 444(7121), 860–867.
- León-Velarde, F., Maggiorini, M., Reeves, J. T., Aldashev, A., Asmus, I., Bernardi, L., ... Zubieta-Calleja, G. (2005). Consensus statement on chronic and subacute high altitude diseases. *High Altitude Medicine & Biology*, 6(2), 147-157.
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (2006). Living high-training low: Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 102-112.
- Monge, C., & León-Velarde, F. (1991). Physiological adaptation to high altitude: Oxygen transport in mammals and birds. *Physiological Reviews*, 71(4), 1135-1172.
- Popkin, B. M. (2017). Relationship between shifts in food system dynamics and acceleration of the global nutrition transition. *Nutrition Reviews*, 75(2), 73-82.

Thompson, F. E., & Subar, A. F. (2013). Dietary assessment methodology. In A. Coulston, C. Boushey & M. Ferruzzi (Eds.), *Nutrition in the prevention and treatment of disease* (3rd ed.). San Diego: Academic Press.

World Health Organization. (2011). *Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity*. Geneva: World Health Organization.

World Health Organization. (2020). *Healthy diet: Fact sheet*. Geneva: World Health Organization.